



Endbericht

**Berechnung der potentiellen
Strahlenexposition in der Umgebung
des Helmholtz-Zentrums Geesthacht
durch Ableitungen mit der Fortluft
gemäß AVV zu § 47 StrlSchV**

BS-Projekt-Nr. 1807-02b
Bestellung 35045805

erstellt im Auftrag der
Helmholtz-Zentrum hereon GmbH
Max-Planck-Straße 1
21502 Geesthacht

durch die

Brenk Systemplanung GmbH
Heider-Hof-Weg 23
52080 Aachen

Rev. 4
Aachen, 29.10.2021

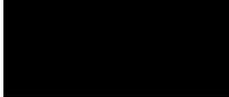
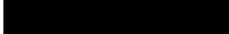
Anmerkung:

Dieser Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers (BS) wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (HER) übereinstimmen.



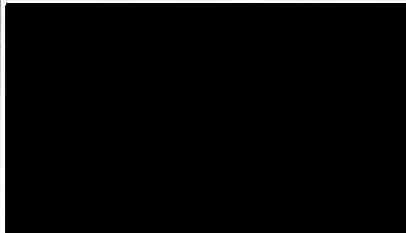
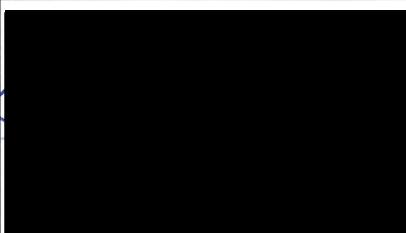
AUTOREN

Dieser Bericht wurde vom folgenden Bearbeiter erstellt:

- 
- 
- 

Es wird versichert, dass dieser Bericht nach bestem Wissen und Gewissen, unparteiisch und ohne Ergebnisweisung angefertigt worden ist.

PRÜFUNG UND FREIGABE

erstellt	geprüft	freigegeben
		



ZUSAMMENFASSUNG

Der Forschungsreaktor FRG 1 der Helmholtz-Zentrum hereon GmbH ist seit dem 28.06.2010 endgültig abgeschaltet und befindet sich in der Nachbetriebsphase. Der FRG 1 soll stillgelegt und die Forschungsreaktoranlage, bestehend aus dem FRG 1 und den noch vorhandenen Anlagenteilen des FRG 2, zusammen mit dem Heißen Labor (die FR-Anlagen werden im Folgenden als FRG bezeichnet) abgebaut werden.

2016 wurde durch Hereon der Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen im Rahmen der Zerlegung und Entsorgung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn (RDB-OH) in einer zu errichtenden Zerlegehalle beantragt. Hierfür wurden Ableitungen mit der Fortluft beantragt.

Im vorliegenden Bericht werden die potentiellen radiologischen Auswirkungen von Ableitungen über den Luftpfad im bestimmungsgemäßen Betrieb während des zukünftigen Restbetriebs der Anlagen unter Berücksichtigung der Vorbelastungen ermittelt.

Die Quellterme für Ableitungen des FRG und der Zerlegehalle werden auf Basis der für Stilllegung und Abbau beantragten Aktivitätsgrenzwerte der Ableitungen von Aerosolen und radioaktiven Gasen im bestimmungsgemäßen Betrieb bestimmt.

Für den Standort relevante Vorbelastungen resultieren aus:

- den für die Transportbereitstellungshalle (TBH) für die Bereitstellung von leicht- und mittelradioaktiven Abfällen möglichen Ableitungen mit der Fortluft,
- den für Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerks Krümmel (KKK) beantragten Aktivitätsgrenzwerten der Ableitungen mit der Fortluft und
- den für das LasmAaZ für die Zwischenlagerung von leicht- und mittelradioaktiven Abfällen möglichen Ableitungen mit der Fortluft.

Die Vorbelastungen werden in die Ausbreitungs- und Dosisberechnungen mit einbezogen. Für den Standort Hereon selbst sind keine weiteren Ableitungen außer den aufgeführten (TBH) zu berücksichtigen.

Im Rahmen des Genehmigungsantrags für die TBH ist die explizite Beantragung von Ableitungswerten nicht erforderlich und daher auch nicht erfolgt. Die Einhaltung der Dosisgrenzwerte durch Ableitungen aus der TBH (allein) ergibt sich aus der Einhaltung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen.

Bezüglich der Ableitungen aus der TBH ist die hier vorgelegte Unterlage ebenso als Nachweis dafür zu sehen, dass die Einhaltung der Dosisgrenzwerte auch unter Berücksichtigung der weiteren, für den Standort relevanten Ableitungen (Vorbelastungen im Sinne der Ableitungen aus der TBH) gegeben ist.

Für Standorte kerntechnischer Anlagen in der weiteren Umgebung des Standorts wurde festgestellt, dass auf Grund der entfernungsbedingten Verdünnung keine radiologischen Auswirkungen am Standort vorliegen.

Meteorologische Daten wurden vom Auftraggeber für den Standort zur Verfügung gestellt. Bei den Daten handelt es sich um stündliche Werte für Windgeschwindigkeit und Windrichtung in 10 m Höhe über Gelände, Niederschlagsintensität und Ausbreitungsklasse im Zeitraum 2010 bis 2018. Aus den Daten für den Zeitraum 2010 bis 2018 wurden 4-parametrische Statistiken für das Ganzjahr und für das

Sommerhalbjahr erzeugt. Am Standort ist Wind aus west-südwestlichen Richtungen am häufigsten zu beobachten. Im Hinblick auf die Niederschlagsereignisse überwiegen die Anströmungen aus westlichen Sektoren. Die über den Betrachtungszeitraum gemittelte jährliche Niederschlagsmenge beträgt 667 mm. Die mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über Gelände beträgt 2,6 m/s. Am Standort dominieren neutrale Ausbreitungsbedingungen im Jahresverlauf, im Sommer sind stabile Ausbreitungsbedingungen vorherrschend.

Bei der Ermittlung der Ausbreitungsbedingungen ist eine Berücksichtigung des Einflusses des Geländes am Standort erforderlich.

Die höchste potentielle Effektivdosis wird für die Altersgruppen der Säuglinge mit 60 $\mu\text{Sv/a}$ (Grenzwert 300 $\mu\text{Sv/a}$) ermittelt. Für das relativ zum Grenzwert gemäß § 47 StrlSchV²⁰⁰¹ potentiell am höchsten belastete Organ (Rotes Knochenmark, Grenzwert 300 $\mu\text{Sv/a}$) ergibt sich eine Dosis von 95 $\mu\text{Sv/a}$ (Säuglinge). Für das potentiell absolut am höchsten belastete Organ (Knochenoberfläche, Grenzwert 1800 $\mu\text{Sv/a}$) ergibt sich eine Dosis von 268 $\mu\text{Sv/a}$ (Jugendliche). Alle berechneten Expositionen liegen unter den Grenzwerten gemäß § 47 StrlSchV²⁰⁰¹.

Der Anteil der Exposition, der durch Ableitungen aus dem Fortluftkamin des FRG bzw. aus der Zerlegehalle verursacht wird, ist sehr gering (Wert der jeweiligen Gesamt-Effektiv- und Organdosis $< 0,1 \mu\text{Sv/a}$, Knochenoberfläche $< 0,4 \mu\text{Sv/a}$).

Eine separate Berechnung der Exposition nur durch Ableitungen aus dem Fortluftkamin des FRG (ohne Vorbelastung) ergibt ungünstigste Aufpunkte in den Sektoren 3 und 4 jeweils am Zaun (Entfernungen 300 m bzw. 220 m). Die berechneten potentiellen Expositionen liegen dabei für alle Altersklassen und Organe bzw. die Effektivdosis deutlich unter 1 $\mu\text{Sv/a}$. Analog lässt sich eine entsprechende Aussage für Ableitungen aus der Zerlegehalle treffen.

In einer Sensitivitätsanalyse wurde untersucht, welche Expositionen sich ergeben, wenn die Ableitungen aus dem FRG und der Zerlegehalle (alle Nuklide) als Kurzzeitableitungen betrachtet werden. Die dabei ermittelten Werte lagen um 8 % bis 17 % über den bei reiner Langzeitausbreitung berechneten Werten. Alle getroffenen Aussagen zur Einhaltung der Grenzwerte bleiben damit auch bei Berücksichtigung der Ableitungen durch FRG und die Zerlegehalle als Kurzzeitableitungen weiter gültig.



INHALTSVERZEICHNIS

Seite:

ZUSAMMENFASSUNG

1. EINLEITUNG	1
2. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN.....	3
2.1. Expositionspfade	3
2.2. Lebensgewohnheiten der Referenzpersonen	4
2.2.1. Verzehrsmengen	4
2.2.2. Atemraten und Lungenretentionsklassen	5
2.2.3. Expositionszeiten	5
2.3. Dosiskoeffizienten	6
2.4. Ausbreitungsmodell	6
2.5. Expositionsberechnung	7
2.6. Grenzwerte der Strahlenexposition	8
2.7. Berücksichtigung von Vorbelastungen	8
3. STANDORT UND VERWENDETE DATEN	9
3.1. Standortbeschreibung	9
3.2. Quellterm FRG 1	14
3.3. Quellterm Zerleghalle	17
3.4. Vorbelastung	18
3.4.1. Quellterm TBH.....	20
3.4.2. Quellterm KKK	21
3.4.3. Quellterm LasmAaZ	23
3.5. Einfluss des Geländes und der Gebäude.....	23
3.6. Emissionsorte	26
3.7. Berücksichtigung der Betriebsdauer	26
3.8. Meteorologische Daten zur Langzeitausbreitungsberechnung	27
3.8.1. Verwendete Daten und prinzipielles Vorgehen	27
3.8.2. Ausbreitungsstatistiken.....	28
3.9. Meteorologische Daten zur Kurzeitausbreitungsberechnung	35
3.10. Bemerkungen zur Methodik	35
4. ERGEBNISSE	37
4.1. Ungünstigste Aufpunkte außerhalb des Anlagengeländes.....	37
4.2. Dosisberechnungen	43
4.3. Sensitivitätsanalyse Kurzzeitableitungen	53



5. QUELLEN	56
A. ANHANG.....	61



TABELLENVERZEICHNIS

Seite:

Tabelle 2-1:	Jahresverbrauch (95 %-Quantil) an Lebensmitteln der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Ingestion nach [SSV 17] und [AVV 12], Mengen in kg/a	5
Tabelle 2-2:	Atemraten der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Inhalation nach [SSV 17] und [AVV 12].....	5
Tabelle 2-3:	Aufenthaltszeiten der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch äußere Bestrahlung und Inhalation nach [SSV 17] und [AVV 12].....	6
Tabelle 2-4:	Grenzwerte für die durch Ableitungen mit der Luft bedingten Strahlenexpositionen (effektive Dosis und Organdosen) gemäß § 47 Abs. 1 StrlSchV ²⁰⁰¹	8
Tabelle 3-1:	Abstand des Anlagenzauns (auf 10 m gerundet) vom Fortluftkamin auf der Winkelhalbierenden der 12 zu betrachtenden Sektoren.....	10
Tabelle 3-2:	Abstand des Anlagenzauns (auf 10 m gerundet) des KKK vom Fortluftkamin bzw. dem Emissionsort des LasmAaZ auf der Winkelhalbierenden der 12 zu betrachtenden Sektoren	13
Tabelle 3-3:	Beantragte Genehmigungswerte (Aktivitätsgrenzwerte) der jährlichen Nuklidabgaben (gesamtes Jahr) des FRG 1 mit der Fortluft in [Bq]	15
Tabelle 3-4:	Nuklidspezifische jährliche potentielle Ableitungen über den Fortluftkamin des FRG.....	16
Tabelle 3-5:	Beantragte Genehmigungswerte (Aktivitätsgrenzwerte) der jährlichen Nuklidabgaben (gesamtes Jahr) der Zerlegehalle mit der Fortluft in [Bq]	17
Tabelle 3-6:	Nuklidspezifische jährliche potentielle Ableitungen über den Fortluftkamin der Zerlegehalle.....	18
Tabelle 3-7:	Messergebnisse der Nuklidkonzentration in Gebäude 15	19
Tabelle 3-8:	Quellterm für Abgaben mit der Fortluft aus der TBH	21
Tabelle 3-9:	Beantragte Genehmigungswerte (Aktivitätsgrenzwerte) für Abgaben des KKK mit der Fortluft in [Bq]	22
Tabelle 3-10:	Nuklidspezifische jährliche potentielle Ableitungen über den Fortluftkamin des KKK.....	22
Tabelle 3-11:	Quellterm für Abgaben mit der Fortluft aus dem LasmAaZ.....	23
Tabelle 3-12:	Mittlere Windgeschwindigkeit in 18 m Höhe sowie jährliche Niederschlagssumme für die Jahre 2010 bis 2018 am Standort.....	29



Tabelle 4-1:	Langzeitausbreitungs-, Fallout- und Washoutfaktoren (für Aerosole) für Emissionen aus dem Fortluftkamin des FRG.....	38
Tabelle 4-2:	Gamma-Ausbreitungsfaktoren (für die Energiegruppen 0,1 MeV und 1 MeV) für Emissionen aus dem Fortluftkamin des FRG	38
Tabelle 4-3:	Langzeitausbreitungs-, Fallout- und Washoutfaktoren (für Aerosole) für Emissionen aus der TBH.....	39
Tabelle 4-4:	Gamma-Ausbreitungsfaktoren (für die Energiegruppen 0,1 MeV und 1 MeV) für Emissionen aus der TBH	39
Tabelle 4-5:	Langzeitausbreitungs-, Fallout- und Washoutfaktoren (für Aerosole) für Emissionen der Fortluftableitung der Zerleghalle	40
Tabelle 4-6:	Gamma-Ausbreitungsfaktoren (für die Energiegruppen 0,1 MeV und 1 MeV) für Emissionen der Fortluftableitung der Zerleghalle	40
Tabelle 4-7:	Langzeitausbreitungs-, Fallout- und Washoutfaktoren (für Aerosole) für Emissionen aus dem Fortluftkamin des KKK.....	41
Tabelle 4-8:	Gamma-Ausbreitungsfaktoren (für die Energiegruppen 0,1 MeV und 1 MeV) für Emissionen aus dem Fortluftkamin des KKK	41
Tabelle 4-9:	Langzeitausbreitungs-, Fallout- und Washoutfaktoren (für Aerosole) für Emissionen aus dem LasmAaZ.....	42
Tabelle 4-10:	Gamma-Ausbreitungsfaktoren (für die Energiegruppen 0,1 MeV und 1 MeV) für Emissionen aus dem LasmAaZ	42
Tabelle 4-11:	Maximale effektive Dosen, separat für jeden Expositionspfad durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerleghalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastung.....	43
Tabelle 4-12:	Potentielle Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerleghalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für Säuglinge (< 1 a) an den ungünstigsten Aufpunkten (Punkt Nr. 1 für externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion (außer Knochenoberfläche und Rotes Knochenmark, dort Punkt Nr. 3)) in [μ Sv/a]	45
Tabelle 4-13:	Potentielle Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerleghalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für Kleinkinder (1 bis 2 a) an den ungünstigsten Aufpunkten (Punkt Nr. 1 für externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion (außer Knochenoberfläche, dort Punkt Nr. 3)) in [μ Sv/a].....	46
Tabelle 4-14:	Potentielle Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerleghalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für Kindergartenkinder (2 bis 7 a) an	

	den ungünstigsten Aufpunkten (Punkt Nr. 1 für externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion (außer Knochenoberfläche, dort Punkt Nr. 3)) in [$\mu\text{Sv/a}$].....	47
Tabelle 4-15:	Potentielle Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für Schulkinder (7 bis 12 a) an den ungünstigsten Aufpunkten (Punkt Nr. 1 für externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion (außer Knochenoberfläche, dort Punkt Nr. 3)) in [$\mu\text{Sv/a}$].....	48
Tabelle 4-16:	Potentielle Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für Jugendliche (12 bis 17 a) an den ungünstigsten Aufpunkten (Punkt Nr. 1 für externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion (außer Knochenoberfläche), dort Punkt Nr. 3) in [$\mu\text{Sv/a}$].....	49
Tabelle 4-17:	Potentielle Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für Erwachsene (> 17 a) an den ungünstigsten Aufpunkten (Punkt Nr. 1 für externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion (außer Knochenoberfläche, dort Punkt Nr. 3)) in [$\mu\text{Sv/a}$].....	50
Tabelle 4-18:	Effektivdosis für Nuklide und Expositionspfade separat für die Altersgruppe der Säuglinge (< 1 Jahr) durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen (Summe der Werte an den ungünstigsten Aufpunkten: Punkt Nr. 1 für Externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion) ..	51
Tabelle 4-19:	Maximale effektive Dosen, separat für jeden Expositionspfad durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastung, Kurzzeitableitungen für alle Nuklide	53
Tabelle 4-20:	Maximale Organdosis für das Rote Knochenmark, separat für jeden Expositionspfad durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastung, Kurzzeitableitungen für H-3 und C-14.....	54



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite:

Abbildung 3-1:	Lageplan Gebäude und Anlagenbereiche der FRG 1 (Kamin: Gebäude 25) und des Heißen Labors sowie der TBH aus [HER 16B].....	11
Abbildung 3-2:	Hereon-Gelände und Zaunverlauf (Kamin: Gebäude 25, Zerlegehalle im Bereich von Gebäude 44).....	12
Abbildung 3-3:	Standort Hereon, Lage KKK und Höhenlinien aus [LVG 16], Darstellung auf Basis von Open-Street-Map® Kartenmaterial	14
Abbildung 3-4:	Anteil der Gesamt-Alpha-Aktivität am Genehmigungswert für die Ableitung von Aerosolen	16
Abbildung 3-5:	Windrichtungshäufigkeit am Standort; Messhöhe 18 m über Grund; oben: Ganzjahr, unten: Sommerhalbjahr.....	30
Abbildung 3-6:	Häufigkeit der Windgeschwindigkeitsklassen (untergliedert nach Niederschlagsintensitätsklassen) am Standort; Messhöhe 18 m über Grund; oben: Ganzjahr, unten: Sommerhalbjahr.....	31
Abbildung 3-7:	Häufigkeit der Ausbreitungsklassen A - F (untergliedert nach Niederschlagsintensitätsklassen) am Standort; oben: Ganzjahr, unten: Sommerhalbjahr	32
Abbildung 3-8:	Niederschlagsmengen in [mm] am Standort separat nach Windrichtungssektoren; oben: Ganzjahr, unten: Sommerhalbjahr	33
Abbildung 3-9:	Häufigkeit des Auftretens einzelner Niederschlagsintensitätsklassen; oben: Ganzjahr, unten: Sommerhalbjahr.....	34
Abbildung A-1:	Standort HZG und Lage KKK, Darstellung auf Basis von Open-Street-Map® Kartenmaterial	62

1. EINLEITUNG

Der Forschungsreaktor FRG 1 der Helmholtz-Zentrum hereon GmbH (Hereon) ist seit dem 28.06.2010 endgültig abgeschaltet und befindet sich in der Nachbetriebsphase. Der FRG 1 soll stillgelegt und die Forschungsreaktoranlage, bestehend aus dem FRG 1 und den noch vorhandenen Anlagenteilen des FRG 2, zusammen mit dem Heißen Labor abgebaut werden. Die Forschungsreaktoranlage und das Heiße Labor sind brennelementfrei. Die FR-Anlagen werden im Folgenden als FRG bezeichnet.

Am 21.03.2013 wurde ein Antrag nach § 7 Abs. 3 Atomgesetz (AtG) ([ATG 12], [ATG 15]) auf Stilllegung des FRG 1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors bei der zuständigen Genehmigungsbehörde (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein) gestellt [HER 13]. Hierbei wurden auch Genehmigungswerte für Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft beantragt.

Für diese beantragten Genehmigungswerte ist nachzuweisen, dass die Grenzwerte gemäß § 47 Abs. 1 StrlSchV²⁰⁰¹ [SSV 17]¹ insbesondere entsprechend § 47 Abs. 5 StrlSchV²⁰⁰¹ unter Berücksichtigung der Vorbelastung aus dem Betrieb anderer Anlagen oder Einrichtungen oder früherer Tätigkeiten eingehalten werden.

Die Ausbreitungs- und Dosisberechnungen sind in Anwendung der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) [AVV 12] zu § 47 StrlSchV²⁰⁰¹ durchzuführen. Ein solcher Nachweis wurde mit [BS 15] unter Berücksichtigung der potentiellen Vorbelastungen durch beantragte Ableitungen bei Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerks Krümmel (KKK) geführt.

Zwischenzeitlich wurde durch Hereon der Umgang mit sonstigen radioaktiven Stoffen im Rahmen der Zerlegung und Entsorgung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn (RDB-OH) in einer zu errichtenden Zerlegehalle beantragt [HER 16]. Hierfür wurden Ableitungen mit der Fortluft beantragt. Weiterhin ist die „neue“ Versuchshalle der FRG des Hereon als Transportbereitstellungshalle (TBH) für die Bereitstellung von leicht- und mittelradioaktiven Abfällen vorgesehen. Hierfür wurde eine Genehmigung zum Umgang mit radioaktiven Stoffen nach § 7 StrlSchV²⁰⁰¹ beantragt [HER 16A]. Daher waren für den Standort Hereon zusätzliche Vorbelastungen zu berücksichtigen (siehe auch [TÜV 18]). Der mit [BS 15] geführte Nachweis wurde daher mit [BS 18] ergänzt. In Ergänzung zu [BS 18] ist gemäß [MEL 20] das geplante Lager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle (LasmAaZ) am Standort des Kernkraftwerks Krümmel als Vorbelastung in der Berechnung der potentiellen Strahlenexposition am Standort Hereon zu berücksichtigen.

Die für FRG 1 und die Zerlegehalle beantragten Genehmigungswerte für Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft sowie die zu den Ableitungswerten zugeordneten Nuklidvektoren werden in Abschnitt 3 dieses Berichts wiedergegeben. Zusätzlich werden in diesem Abschnitt die potentiellen Vorbelastungen durch Ableitungen anderer Anlagen oder Einrichtungen mit der Fortluft diskutiert und radiologisch relevante Ableitungen für den Standort Hereon zusammengestellt. Die im Abschnitt

¹ Gemäß Rechtslage zum Zeitpunkt der Antragsstellung, siehe hierzu Abschnitt 2



3 aufgeführten Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Fortluft werden als Quellterme für die Ausbreitungs- und Dosisberechnungen verwendet.

Die Auswertung der meteorologischen Daten vom Standort wird ebenfalls in Abschnitt 3 dieses Berichts beschrieben. Dabei werden die in [BS 15] und [BS 18] verwendeten Daten aus dem Zeitraum 2010 bis 2014 um Daten aus dem Zeitraum 2015 bis 2018 ergänzt. Aus diesen Daten wird eine 4-parametrische Ausbreitungstatistik zur Verwendung in den Ausbreitungsberechnungen erstellt.

Abschnitt 4 dieses Berichts befasst sich mit den Ergebnissen der Ausbreitungs- und Dosisberechnungen. Die Ergebnisse der Ausbreitungsberechnungen werden durch Angabe der Lage und Größe sowohl der maximalen Ausbreitungs- und Ablagerungsparameter als auch der jeweils relevanten Ausbreitungs- und Ablagerungsparameter an den ungünstigsten Aufpunkten dargestellt. Es erfolgt weiterhin eine Übersichtsdarstellung der Ergebnisse sowohl für die effektive Dosis als auch für die wichtigsten Organdosen für die ungünstigsten Aufpunkte.

2. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

Die Ermittlung der potentiellen Expositionen erfolgt gemäß StrlSchV²⁰⁰¹ und AVV zu § 47 StrlSchV²⁰⁰¹. Die Expositionen werden für Referenzpersonen aus sechs verschiedenen Altersgruppen ermittelt. Die AVV lag seit 2005 als Entwurf vor. Im März 2012 wurde dieser Entwurf nach Änderungen im Bereich der Berücksichtigung der Patientenausscheidungen vom Bundesrat genehmigt und im September 2012 in Kraft gesetzt [AVV 12].

Mit [SSV 18] liegt mittlerweile eine revidierte StrlSchV vor. Die Ermittlung der für Einzelpersonen der Bevölkerung zu erwartenden Exposition bei Genehmigungs- oder Anzeigeverfahren wird dabei in § 100 StrlSchV geregelt. Dieser beinhaltet (§ 100 Abs. 3 StrlSchV) auch eine Änderung der Berechnungsgrundlage:

Die Bundesregierung erlässt mit Zustimmung des Bundesrates Allgemeine Verwaltungsvorschriften über zugrunde zu legende Annahmen und Berechnungsverfahren für die Ermittlung der zu erwartenden Exposition einer repräsentativen Person. Die Kriterien für die nach § 80 Absatz 4 des Strahlenschutzgesetzes und § 99 Absatz 2 dieser Verordnung erforderliche Berücksichtigung anderer Tätigkeiten werden ebenfalls in die Allgemeinen Verwaltungsvorschriften aufgenommen.

Es gilt jedoch gemäß § 193 Abs. 1 StrlSchV eine Übergangsvorschrift:

§ 99 Absatz 1 und § 100 Absatz 1 und 4 sind erst anzuwenden auf

- 1. Genehmigungsverfahren, für die ein Genehmigungsantrag ab dem ersten Tag des 13. Kalendermonats gestellt wird, der auf das Inkrafttreten Allgemeiner Verwaltungsvorschriften nach § 100 Absatz 3 folgt.*
- 2. Anzeigeverfahren, für die eine Anzeige ab dem ersten Tag des 19. Kalendermonats erstattet wird, der auf das Inkrafttreten Allgemeiner Verwaltungsvorschriften nach § 100 Absatz 3 folgt.*

Bis zu dem in Satz 1 Nummer 1 und 2 jeweils genannten Zeitpunkt ist § 47 Absatz 2 in Verbindung mit Absatz 1 und Anlage VII der Strahlenschutzverordnung in der bis zum 31. Dezember 2018 geltenden Fassung weiter anzuwenden.

Die gemäß § 100 Abs. 3 geforderte AVV wurde am 16.06.2020 veröffentlicht (AVV-Tätigkeiten vom 08.06.2020, [AVV 20]) und trat am 01.09.2020 in Kraft. Die Berechnungen in diesem Bericht erfolgen unter Berücksichtigung des Zeitpunkts des Genehmigungsantrags ([HER 13], [HER 16]) unter Anwendung des Regelwerks gemäß [SSV 17] und [AVV 12].

In Abschnitt 2.1 werden die in dieser Untersuchung berücksichtigten Expositionspfade und in Abschnitt 2.2 die angenommenen Lebensgewohnheiten der Referenzpersonen, wie sie in [AVV 12] festgelegt sind, dargestellt. In Abschnitt 2.3 wird auf die verwendeten Dosiskoeffizienten verwiesen.

2.1. Expositionspfade

Als Expositionspfade werden primär alle Pfade berücksichtigt, die für Ableitungen über den Luftpfad in [AVV 12] aufgeführt sind. Dies sind:

- Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Atemluft (Inhalation),
- äußere Strahlenexposition durch γ -Strahlung aus der Abluftfahne (γ -Submersion),

- äußere Strahlenexposition durch γ -Strahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe (γ -Bodenstrahlung),
- äußere Strahlenexposition durch β -Strahlung innerhalb der Abluffahne (β -Submersion) und
- Aufnahme radioaktiver Stoffe durch ihre Ablagerung auf Pflanzenteilen und ihrem Transfer aus dem Boden in die Pflanze mit der Nahrung (Ingestion).

Für den Expositionspfad Ingestion werden die Teilpfade

- Luft–Pflanze,
- Luft–Futterpflanze–Kuh–Milch,
- Luft–Futterpflanze–Tier–Fleisch,
- Luft–Muttermilch und
- Luft–Nahrung–Muttermilch

betrachtet.

2.2. Lebensgewohnheiten der Referenzpersonen

2.2.1. Verzehrsmengen

In Anhang 5 Tab. 1 der AVV zu § 47 StrlSchV²⁰⁰¹ [AVV 12] sind die nach Anl. VII Teil B StrlSchV²⁰⁰¹ [SSV 17] den Dosisberechnungen zu Grunde zu legenden jährlichen Verzehrsmengen für die verschiedenen Lebensmittelarten und die sechs Altersgruppen angegeben. In diesem Anhang heißt es: „Zur Berücksichtigung der 95 % Perzentile der jährlichen Verzehrsmengen der Referenzpersonen sind die mittleren jährlichen Verzehrsmengen mit den Faktoren der Spalte 8 zu multiplizieren“. Diese Faktoren sind gemäß [BMU 00] so gewählt, „[...] dass bei einer Multiplikation mit dem Mittelwert annähernd der 95-Perzentilwert der Verzehrrate der jeweiligen Nahrungsmittelgruppe abgedeckt wird.“.

Die mit den Faktoren der Spalte 8 aus der o. g. Tabelle multiplizierten jährlichen Verzehrsmengen, die so für die nachfolgenden Dosisberechnungen verwendet werden, sind in Tabelle 2-1 dargestellt.

Tabelle 2-1: Jahresverbrauch (95 %-Quantil) an Lebensmitteln der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Ingestion nach [SSV 17] und [AVV 12], Mengen in kg/a

Altersgruppe	< 1a	1 - 2a	2 - 7a	7 - 12a	12 - 17a	> 17a
Muttermilch	320					
Milch, Milchprodukte	135	480	480	510	510	390
Fleisch, Wurst, Eier	10	26	100	130	160	180
Getreide, Getreideprodukte	24	60	160	190	220	220
einheimisches Frischobst, Obstprodukte, Säfte	75	135	195	195	180	105
Kartoffeln, Wurzelgemüse, Säfte	90	120	135	165	165	165
Gemüse, Gemüseprodukte, Säfte	15	51	90	105	105	120
<i>Summe Pflanzen ohne Blattgemüse</i>	<i>204</i>	<i>366</i>	<i>580</i>	<i>655</i>	<i>670</i>	<i>610</i>
Blattgemüse	9	18	21	27	33	39

2.2.2. Atemraten und Lungenretentionsklassen

Gemäß Anhang 5 Tab. 2 der AVV zu § 47 StrlSchV²⁰⁰¹ [AVV 12] sind die in Tabelle 2-2 dargestellten Atemraten entsprechend Anl. VII Teil B StrlSchV²⁰⁰¹ zur Berechnung der potentiellen Inhalationsdosis zu Grunde zu legen.

Tabelle 2-2: Atemraten der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Inhalation nach [SSV 17] und [AVV 12]

Altersgruppe	< 1a	1 - 2a	2 - 7a	7 - 12a	12 - 17a	> 17a
Atemrate [m ³ /s]	3,5·10 ⁻⁵	6,0·10 ⁻⁵	1,0·10 ⁻⁴	1,8·10 ⁻⁴	2,3·10 ⁻⁴	2,6·10 ⁻⁴

Die Lungenretentionsklassen von Aerosolen, organischem C-14 und H-3 werden so gewählt, dass sich der höchste Beitrag zur Inhalationsdosis ergibt.

2.2.3. Expositionszeiten

Bei der Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch äußere Bestrahlung und Inhalation werden gemäß Anhang 5 Tab. 3 der AVV zu § 47 StrlSchV²⁰⁰¹ [AVV 12] entsprechend Anl. VII Teil B StrlSchV²⁰⁰¹ für die nachfolgenden Dosisabschätzungen die in Tabelle 2-3 aufgeführten, ungeschützten² Expositionszeiten für den jeweiligen Expositionspfad (Aufenthaltszeiten) am betrachteten Ort zu Grunde gelegt.

² Ungeschützt heißt in diesem Zusammenhang, dass die Referenzperson der jeweiligen Strahlung direkt ausgesetzt ist und keine Abschirmwirkung beim Aufenthalt in Gebäuden berücksichtigt wird.

Tabelle 2-3: Aufenthaltszeiten der Referenzpersonen zur Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch äußere Bestrahlung und Inhalation nach [SSV 17] und [AVV 12]

Expositionsprofil	Expositionsdauer
β-Strahlung innerhalb der Abluftfahne (β-Submersion)	1 Jahr
γ-Strahlung aus der Abluftfahne (γ-Submersion)	1 Jahr
γ-Strahlung der am Boden abgelagerten radioaktiven Stoffe	1 Jahr
Inhalation radioaktiver Stoffe	1 Jahr

Die in Tabelle 2-3 angegebenen Aufenthaltszeiten gelten für Personen der allgemeinen Bevölkerung an uneingeschränkt zugänglichen Punkten. Für die Berechnungen im vorliegenden Bericht werden diese Aufenthaltszeiten für Punkte außerhalb von Strahlenschutzbereichen unterstellt.

2.3. Dosiskoeffizienten

Zur Berechnung der Strahlenexpositionen über die in Abschnitt 2.1 angegebenen Expositionspfade werden Dosiskoeffizienten für

- die Inhalation,
- die Ingestion,
- die γ-Submersion,
- die γ-Bodenstrahlung und
- die β-Submersion

benötigt. In Anl. VII Teil C StrlSchV²⁰⁰¹ wird festgelegt, dass die Dosiskoeffizienten aus [BMU 01] zu verwenden sind. Diese dort aufgeführten Dosiskoeffizienten werden für die Dosisberechnungen der vorliegenden Untersuchung angewendet.

2.4. Ausbreitungsmodell

Gemäß Anlage VII Teil C Nr. 3 StrlSchV²⁰⁰¹ sind bei der Ermittlung der Strahlenexposition durch Ableitungen mit Luft gemäß § 47 StrlSchV²⁰⁰¹ für Ausbreitungsrechnungen das Gauß-Modell und eine langjährige Wetterstatistik zugrunde zu legen. Im Einzelfall kann die zuständige Behörde zur Berücksichtigung von Besonderheiten des Standorts und der Anlage oder Einrichtung die Anwendung anderer Verfahren anordnen oder zulassen.

Details des Gauß-Modells (hier konkret Gauß-Fahnenmodell) sind in [AVV 12] Abschnitt 4.1 aufgeführt. Hierbei wird zwischen dem für permanente Ableitungen anzuwendenden Langzeitausbreitungsmodell und dem für kurzzeitige Emissionen anzuwendenden Kurzzeitausbreitungsmodell unterschieden.

Zur Durchführung der Langzeitausbreitungsberechnung ist eine 4-parametrische, mindestens 5-jährige Ausbreitungsstatistik zu verwenden. Die Ausbreitungsstatistiken sind nach den Vorgaben der KTA 1508 [KTA 17], nach dem Verfahren des Deutschen Wetterdienstes (DWD) oder einem vergleichbaren Verfahren zu bestimmen.

Gemäß Anlage VII Teil C Nr. 4 StrlSchV²⁰⁰¹ ist die Festlegung von Parameterwerten in Verbindung mit den Berechnungsmodellen so zu treffen, dass bei dem Gesamtergebnis eine Unterschätzung der

Strahlenexposition nicht zu erwarten ist. Sind zur Ermittlung der Strahlenexposition Parameter zu berücksichtigen, deren Zahlenwerte einer Schwankungsbreite unterliegen, dürfen nur in begründeten Ausnahmefällen Extremwerte der Einzelparameter gewählt werden.

Für das Gauß-Fahnenmodell ist eine Parametrisierung hinsichtlich der horizontalen und vertikalen Ausbreitungsparameter (σ_y und σ_z) erforderlich. Für die Verwendung gemäß den Anforderungen in [AVV 12] erfolgt diese so, dass eine Überschätzung der Verdünnung (und damit verbunden eine Unterschätzung der Strahlenexposition) für typische, mit hohen Freisetzungshöhen verbundene Ausbreitungssituationen ausgeschlossen ist.

Die Ausbreitungsberechnung liefert als Ergebnis Ausbreitungsfaktoren, Washoutkoeffizienten und Ausbreitungsfaktoren für die γ -Submersion an allen vorgegebenen Aufpunkten.

Für die Berechnung der Dosis werden aus dem Ausbreitungsfaktor ein Faktor für die trockene Ablagerung (Falloutfaktor) und aus dem Washoutkoeffizienten ein Faktor für die nasse Ablagerung (Washoutfaktor) berechnet.

Den nuklidabhängigen Falloutfaktor erhält man durch Multiplikation des Ausbreitungsfaktors A_f mit der Ablagerungsgeschwindigkeit v_g :

$$W = A_f \cdot v_g \quad (\text{G 2-1})$$

Den nuklidabhängigen Washoutfaktor für bestimmte Niederschlagsintensitäten erhält man aus dem Washoutkoeffizient Λ_0 , der Niederschlagsintensität I in mm/h und der Niederschlagsintensität $I_0 = 1$ mm/h mit der Formel

$$\Lambda = \Lambda_0 \cdot \left(\frac{I}{I_0}\right)^\kappa \quad (\text{G 2-2})$$

wobei für κ die Werte 1,0 für Tritium und 0,8 für Aerosole und Iod anzusetzen sind.

Parameter zur Berechnung der nassen und trockenen Ablagerungsraten für Aerosole werden gemäß [AVV 12] Anhang 7 Tabelle 3 (Ablagerungsgeschwindigkeit $v_g = 0,0015$ m/s, Washoutkoeffizient $\Lambda_0 = 7 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ für die Niederschlagsintensität I_0) verwendet.

2.5. Expositionsrechnung

Bei Anwendung der Berechnungsvorschriften in [AVV 12] erfolgt nach Ermittlung der Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren für Langzeitableitungen die Berechnung der potentiellen Dosis nach [AVV 12], Absatz 3.

Zusätzlich werden im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse Berechnungen für Kurzzeitableitungen entsprechend den Vorgaben aus [AVV 12] durchgeführt. Die dort aufgeführten Berechnungsvorschriften können allerdings nicht direkt für die Berechnung der Ingestionsdosis durch Kurzzeitableitungen von H-3 und C-14 angewandt werden, da die Berechnung der H-3- bzw. C-14-Aktivitätskonzentration in den Nahrungs- und Futterpflanzen dort nur für Langzeitausbreitungsbetrachtungen auf Basis mittlerer Aktivitätskonzentrationen in der Luft aufgeführt sind. Für die Berechnung dieser Aktivitätskonzentrationen bedingt durch Kurzzeitableitungen wird daher auf die Berechnungsvorschriften von [SSK 99] zurückgegriffen. Es werden die in [SSK 99] aufgeführten Formeln und Parametrisierungen

verwendet, außer bei der Rate der Kohlenstoffzunahme (Nettoassimilationsrate V_c) im Pflanzenwachstum. Diese wird abweichend vom Vorgehen in [SSK 99] aus den Angaben in [AVV 12], Anhang 4 zum Massenanteil des Kohlenstoffs, zur Zeit, in der Pflanzen während der Wachstumsperiode der Abluftfahne ausgesetzt sind und zum Ertrag bzw. Bewuchsdichte pflanzengruppenspezifisch berechnet, um eine Massenerhaltung³ in der Berechnungsvorschrift zu erreichen.

2.6. Grenzwerte der Strahlenexposition

Gemäß § 47 Abs. 1 StrlSchV²⁰⁰¹ gelten für den Betrieb, die Stilllegung und den Abbau von Anlagen oder Einrichtungen die in Tabelle 2-4 angegebenen Grenzwerte für die Strahlenexposition von Einzelpersonen der Bevölkerung im Kalenderjahr, die durch Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft aus diesen Anlagen oder Einrichtungen verursacht werden.

Tabelle 2-4: Grenzwerte für die durch Ableitungen mit der Luft bedingten Strahlenexpositionen (effektive Dosis und Organdosen) gemäß § 47 Abs. 1 StrlSchV²⁰⁰¹

Effektive Dosis/Organdosis	Grenzwert in $\mu\text{Sv/a}$
Effektive Dosis	300
Organdosis für Keimdrüsen (Ovarien, Hoden), Gebärmutter, Rotes Knochenmark	300
Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Brust, Leber, Speiseröhre, Schilddrüse, andere Organe und Gewebe gemäß Anlage VI Teil C Nr.2 StrlSchV ²⁰⁰¹	900
Knochenoberfläche, Haut	1.800

2.7. Berücksichtigung von Vorbelastungen

Gemäß § 99 Absatz 2 StrlSchV (vorher § 47 Abs. 5 StrlSchV²⁰⁰¹) sind zur Beurteilung, ob die Grenzwerte für die Strahlenexposition der Bevölkerung eingehalten werden, neben den Ableitungen aus der betrachteten Anlage auch Ableitungen aus dem Betrieb anderer Anlagen oder Einrichtungen oder früherer Tätigkeiten, die in den Geltungsbereich der StrlSchV²⁰⁰¹ fallen (so genannte Vorbelastungen), mit zu berücksichtigen. Für die Ermittlung der Vorbelastung durch Anlagen, die einer Genehmigung nach §§ 6, 7 oder 9 AtG, nach § 7 StrlSchV²⁰⁰¹ oder eines Planfeststellungsverfahrens nach § 9 AtG bedürfen, ist von den in den jeweiligen Genehmigungen festgelegten höchstzulässigen Ableitungen auszugehen [AVV 12].

Gemäß [MEL 15] sind dabei insbesondere die Vorbelastungen durch Ableitungen aus folgenden Einrichtungen zu berücksichtigen:

- Helmholtz-Zentrum Geesthacht (Hereon),
- Sammelstelle (Landessammelstelle),
- Kernkraftwerk Krümmel (KKK),
- Standortzwischenlager Krümmel (SZK),

³ Bei Verwendung einer einheitlichen Rate der Kohlenstoffzunahme für alle Pflanzentypen würde insbesondere eine Überschätzung der Bewuchsdichte von Weidepflanzen erfolgen.

- Kernkraftwerk Brunsbüttel (KKB),
- Standortzwischenlager Brunsbüttel (SZB),
- Kernkraftwerk Brokdorf (KBR) und
- Kernkraftwerk Stade (KKS).

Hinzu kommen gemäß [TÜV 18]:

- die Transportbereitstellungshalle (TBH)⁴ für die Bereitstellung von leicht- und mittelradioaktiven Abfällen und
- die geplante Zerlegehalle für die Zerlegung und Entsorgung des Reaktordruckbehälters des ehemaligen Forschungsschiffs Otto Hahn (RDB-OH)⁵.

Weiterhin ist gemäß [MEL 20]

- das geplante Lager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle (LasmAaZ) am Standort des Kernkraftwerks Krümmel

als Vorbelastung in der Berechnung der potentiellen Strahlenexposition am Standort Hereon zu berücksichtigen.

3. STANDORT UND VERWENDETE DATEN

3.1. Standortbeschreibung

Das Gelände des Hereon befindet sich am sogenannten Geesthang. Dieser ist Teil des Elbe-Urstromtals und entstand wahrscheinlich zwischen dem kältesten Abschnitt der Weichseleiszeit vor etwa 22.000 bis 18.000 Jahren und dem Ende der Vergletscherung Norddeutschlands vor etwa 14.500 Jahren. Die Geländehöhe am Standort variiert zwischen ca. 20 mNN (nördlich der Elbuferstraße im Süden des Geländes) und 64 mNN (Otto-Hahn-Straße im Nord-Westen des Geländes).

Abbildung 3-1 stellt die unmittelbare Umgebung des FRG 1 einschließlich TBH dar [HER 16B]. Dieser Plan beinhaltet keinen Maßstab, zur Orientierung sei auf die Abmessungen der TBH (28 m x 31 m) verwiesen.

Aus der Abbildung 3-2 kann die Ausdehnung des Hereon-Geländes und die Lage des FRG 1 und der geplanten Zerlegehalle auf einem vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Lageplan entnommen werden (Zerlegehalle im Bereich von Gebäude 44).

Die unmittelbare Umgebung des Fortluftkamins des FRG liegt auf einer Geländehöhe von ca. 49 mNN (Höhenangaben entnommen aus [BOY 15]⁶). Der für die geplante Zerlegehalle vorgesehene Platz liegt auf einer Geländehöhe von ca. 21 mNN (Höhenangaben entnommen aus [BOY 15]⁶, Zerlegehalle nicht in Abbildung 3-1 dargestellt). Die Höhe der geplanten Fortluftableitung beträgt

⁴ siehe hierzu Abschnitt 3.4.1

⁵ Die geplante Zerlegehalle wird im vorliegenden Bericht als beantragte Ableitung berücksichtigt und formell nicht der Vorbelastung zugeordnet.

⁶ Die hier zitierten Höhenangaben aus [BOY 15] bzw. dem 2020 aktualisierten Plan stimmen mit den Werten aus [LVG 16] im Rahmen der für die Berechnungen notwendigen Genauigkeiten überein (siehe Abbildung 3-3).

13 m. Nordöstlich bzw. östlich des Standorts steigt das Terrain gegenüber dem Elbniveau ebenfalls an und liegt nach 1500 m bzw. 1000 m auf etwa 60 mNN. Der Standort des KKK schließt sich westlich an das Hereon-Gelände an und befindet sich in unmittelbarer Elbnähe auf einer Geländehöhe von ca. 8,5 mNN. Südöstlich bis westlich fließt die Elbe, deren südliches Ufer in einer Entfernung zwischen 500 m im Süden und ca. 1000 m im Westen auf ca. 5 mNN liegt. Nordwestlich des Standorts ist wieder ein Geländeanstieg zu verzeichnen. Der etwa 500 m entfernte Kronsberg erreicht eine Höhe von ca. 60 mNN.

Es sind 12 Ausbreitungssektoren mit dem Ursprung beim Fortluftkamin des FRG eingezeichnet. Die schwarze Außenumrandung gibt den Zaunverlauf wieder. Die Höhe des Fortluftkamins des FRG beträgt 60 m.

In der Tabelle 3-1 sind die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Abstände zwischen Zaun und Fortluftkamin des FRG angegeben. Die Sektor-Nummerierung beginnt mit 1 für den nördlichen Sektor und läuft im Urzeigersinn. Die aufgeführten Abstände dienen im vorliegenden Bericht nur zur Übersicht. Der Ausschluss von Aufpunkten innerhalb von Überwachungsbereichen bei der Berechnung erfolgt im kartesischen Koordinatensystem unter direkter Berücksichtigung der jeweiligen Flächenumrandungen (siehe Diskussion zu Abbildung 3-3 und Abschnitt 3.10).

Tabelle 3-1: Abstand des Anlagenzauns (auf 10 m gerundet) vom Fortluftkamin auf der Winkelhalbierenden der 12 zu betrachtenden Sektoren

Sektor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Richtung des Sektors (Driftrichtung) [°]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Abstand des Zauns vom Fortluftkamin [m]	620	380	300	220	190	190	180	180	250	340	590	700

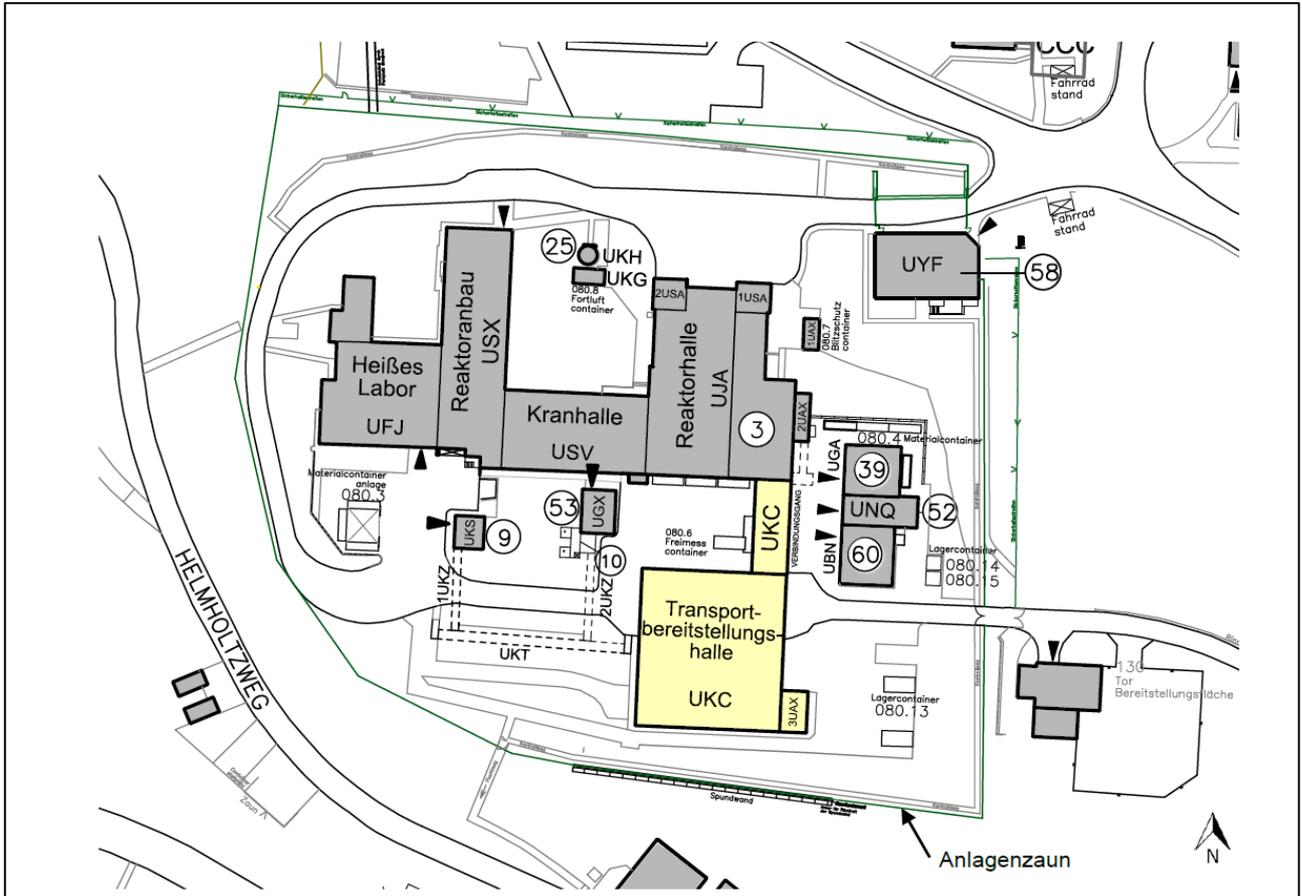


Abbildung 3-1: Lageplan Gebäude und Anlagenbereiche der FRG 1 (Kamin: Gebäude 25) und des Heißen Labors sowie der TBH aus [HER 16B]

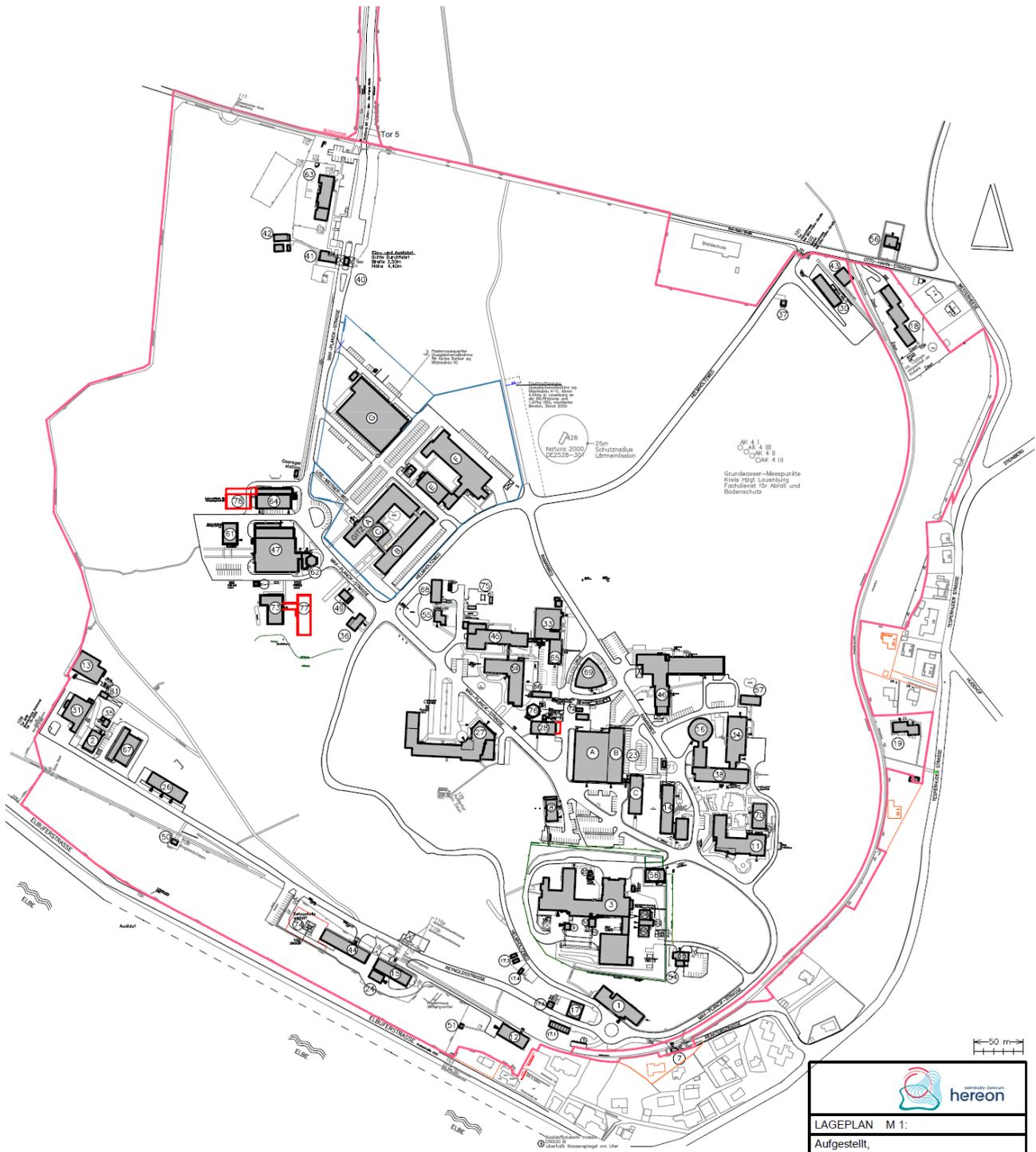


Abbildung 3-2: Hereon-Gelände und Zaunverlauf (Kamin: Gebäude 25, Zerlegehalle im Bereich von Gebäude 44)

In Abbildung 3-3 ist die Umgebung des Standorts dargestellt. In dieser Darstellung ist auch die Lage des KKK eingezeichnet. Der Fortluftkamin des KKK (in Abbildung 3-3 markiert durch roten Punkt) befindet sich in Richtung ca. 290° (Sektor 11) in 1300 m Entfernung zum Fortluftkamin des FRG. Die Höhe des Fortluftkamins des KKK beträgt 150 m. Die blaue Linie gibt den Verlauf des Massivzauns des KKK wieder. Die Positionen der einzelnen Quellterme

- Fortluftkamin des FRG,
- Fortluftkamin des KKK,
- geplanter Fortluftkamin der Zerlegehalle,
- geplantes LasmAaZ und
- geplante TBH

sind in Abbildung 3-3 als rote Punkte eingezeichnet. Zusätzlich sind die aus den Daten in [LVG 16] interpolierten Höhenlinien für 10 mNN (schwarze Linie), 20 mNN (rote Linie) und 50 mNN (blaue Linie) dargestellt. Aufpunkte der Ausbreitungs- und Dosisberechnung (siehe Abschnitt 4.1) sind grün dargestellt.

In Tabelle 3-2 sind die Abstände des Fortluftkamins des KKK und des Emissionsorts des LasmAaZ vom Anlagenzaun des KKK zusammengefasst. Die aufgeführten Abstände dienen im vorliegenden Bericht nur zur Übersicht. Der Ausschluss von Aufpunkten innerhalb von Überwachungsbereichen bei der Berechnung erfolgt im kartesischen Koordinatensystem unter direkter Berücksichtigung der jeweiligen Flächenumrandungen.

Tabelle 3-2: Abstand des Anlagenzauns (auf 10 m gerundet) des KKK vom Fortluftkamin bzw. dem Emissionsort des LasmAaZ auf der Winkelhalbierenden der 12 zu betrachtenden Sektoren

Sektor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Richtung des Sektors (Driftrichtung) [°]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Abstand des Zauns (KKK) vom Fortluftkamin KKK [m]	140	110	130	190	250	230	120	100	110	160	210	210
Abstand des Zauns (KKK) vom Emissionsort LasmAaZ [m]	100	80	90	120	150	170	160	120	130	220	300	210

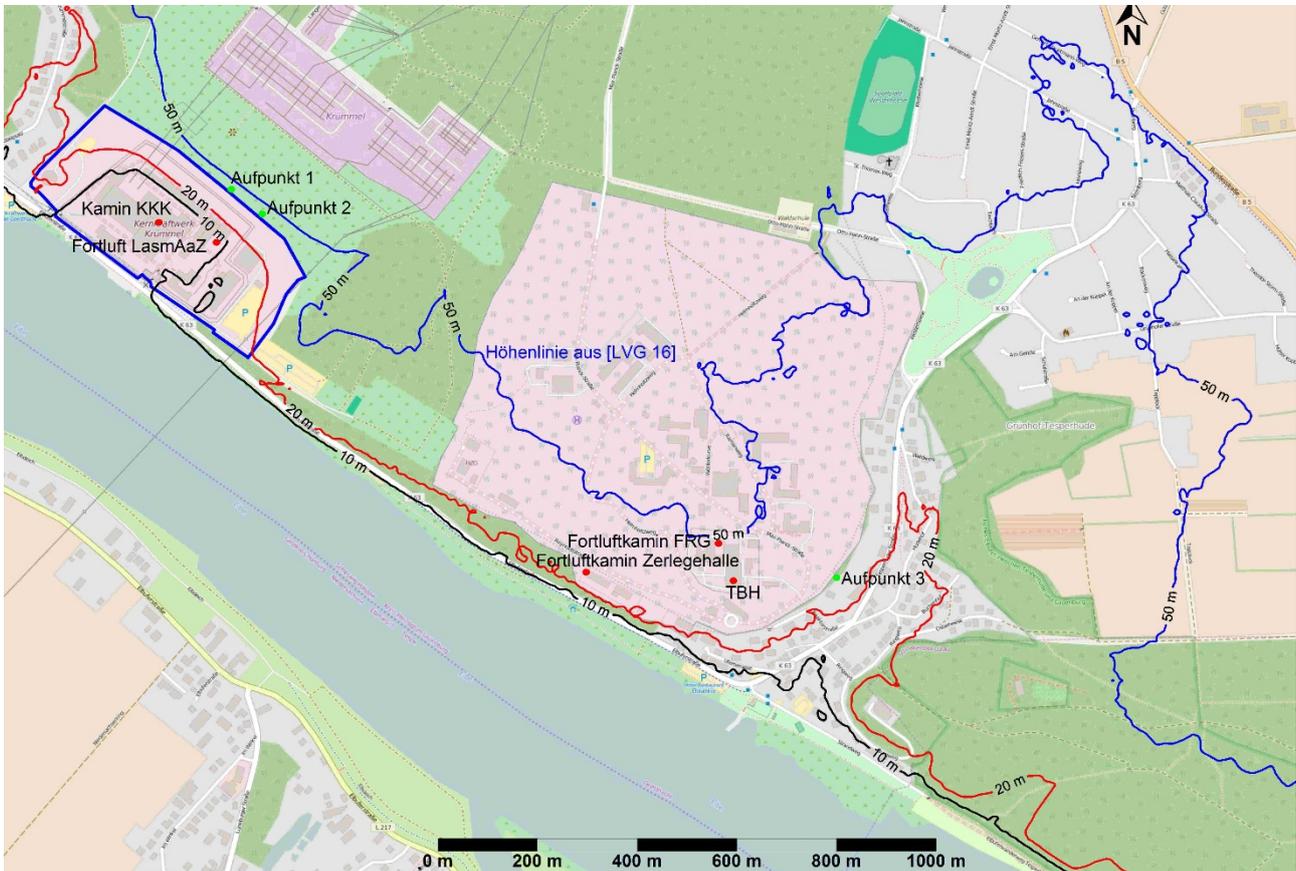


Abbildung 3-3: Standort Hereon, Lage KKK und Höhenlinien aus [LVG 16], Darstellung auf Basis von Open-Street-Map® Kartenmaterial

Der Überwachungsbereich des Hereon wird in Abbildung 3-3 durch eine grau umrandete farbig abgesetzte Fläche gekennzeichnet. Zwischen einer Entfernung von 1100 m und ca. 1450 m in Richtung 290° (Nord-West) liegt der Überwachungsbereich des KKK (Massivzaun, blau umrandet in Abbildung 3-3). Beide Bereiche sind für Personen der allgemeinen Bevölkerung nicht zugänglich. Innerhalb der durch den Zaun des Hereon bzw. den Massivzaun des KKK umschlossenen Flächen werden daher keine Aufpunkte zur Ermittlung der Exposition berücksichtigt.

Die ermittelten ungünstigsten Aufpunkte (in Abbildung 3-3 markiert durch grüne Punkte) werden in Abschnitt 4.1 diskutiert.

3.2. Quellterm FRG 1

Im Genehmigungsantrag zur Stilllegung des Forschungsreaktors FRG 1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors [HER 13] wurden Genehmigungswerte der Ableitungen von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft im bestimmungsgemäßen Betrieb innerhalb eines Kalenderjahres beantragt. In Tabelle 3-3 sind die beantragten Genehmigungswerte aufgeführt.

Tabelle 3-3: Beantragte Genehmigungswerte (Aktivitätsgrenzwerte) der jährlichen Nuklidabgaben (gesamtes Jahr) des FRG 1 mit der Fortluft in [Bq]

Quellort	Nuklid/Nuklidgruppe	beantragter Genehmigungswert
Fortluftkamin	radioaktive Aerosole	$3,7 \cdot 10^{07}$
	Tritium (H-3)	$1,5 \cdot 10^{11}$
	C-14	$1,2 \cdot 10^{09}$

Gesonderte Werte für die Abgabe während eines Halbjahrs bzw. eines Kalendertags wurden nicht beantragt. Es wird aber in diesem Bericht davon ausgegangen, dass die Abgabe während eines Halbjahrs bzw. konkret der Wachstumsperiode zwischen 1. Mai und 31. Oktober jeden Jahres (Sommerhalbjahr) die Hälfte der beantragten Genehmigungswerte für das gesamte Jahr und dass die Abgabe während eines Kalendertags jeweils 1 % der beantragten Genehmigungswerte nicht überschreitet. Hinsichtlich der Ableitungen von H-3 und C-14 erfolgt zusätzlich eine Sensitivitätsanalyse, bei der die Ableitungen dieser Nuklide als Kurzzeitableitungen berücksichtigt werden.

Der Nuklidvektor für die potentielle Ableitung von Aerosolen über den Fortluftkamin des FRG während Stilllegung und Abbau wird vom Betreiber folgendermaßen angegeben:

- Cs-137: 69,5 %,
- Co-60: 25 %,
- Sr-90: 5 % und
- Am-241: 0,5 %.

Der Anteil der anorganischen Fraktion (CO₂) an der C-14-Abgabe wird mit 100 % angenommen (konservative Annahme). H-3 wird zur Berücksichtigung der Exposition durch Ingestion als HTO angenommen.

Bei der Nuklidvektorfestlegung wird primär davon ausgegangen, dass in der Anlage keine signifikanten freisetzbaren Kontaminationen von α -Strahlern existieren. Die Betriebshistorie stützt diese Annahme. Hierzu sind in Abbildung 3-4 die Ableitungen der Alpha-Aktivität (Gesamt-Alpha) als Anteil am Genehmigungswert für Ableitungen von Aerosolen seit 1991 dargestellt. Ohne Berücksichtigung der Nachweisgrenzen (NWG) bzw. Erkennungsgrenzen (EKG) bis 1994 beträgt dieser Anteil im Mittel weniger als 0,01 %. Die Bestimmung der Alpha-Aktivität erfolgt als Summenparameter für Gesamt-Alpha. Daher ist anzunehmen, dass hierbei ein großer Anteil an natürlichen Nukliden vorliegt. Konservativ wird dennoch ein Aktivitätsanteil von 0,5 % von α -Strahlern für die Ableitung unterstellt. Bei der Nuklidvektorfestlegung wird dieser Anteil von α -Strahlern dem Nuklid Am-241 zugeordnet.

Weitere beim Abbau auftretende langlebige Radionuklide, die ggf. in signifikanter Aktivitätsmenge anfallen können⁷, sind durch die Wahl des Nuklidvektors abgedeckt:

- aus der Aktivierung im Beton stammende Europium-Isotope (Eu-152 und Eu-154) durch Co-60,

⁷ wobei damit nicht zwangsläufig eine Freisetzung und Abgabe mit der Fortluft verbunden sein muss

- bei der Aktivierung von Stahl auftretende Nuklide (u. a. Mn-54, Fe-55, Ni-63) durch Cs-137 und
- weitere Aktivierungsprodukte wie z. B. Ag-108m oder Ru-106 hinsichtlich der Exposition durch Bodenstrahlung durch Co-60 und hinsichtlich der Exposition durch Inhalation und Ingestion durch Cs-137 bzw. Sr-90.

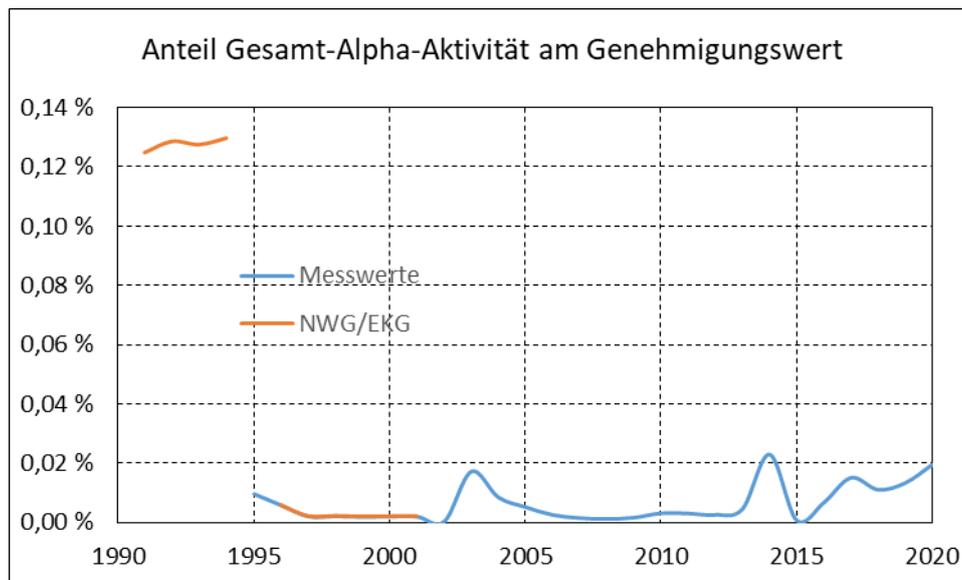


Abbildung 3-4: Anteil der Gesamt-Alpha-Aktivität am Genehmigungswert für die Ableitung von Aerosolen

In Tabelle 3-4 sind die für die Ableitung mit der Fortluft des FRG angesetzten Nuklide, deren chemische Form und die Rechenwerte der auf Basis der beantragten Genehmigungswerte ermittelten jährlichen Aktivitätsfreisetzungen angegeben.

Tabelle 3-4: Nuklidspezifische jährliche potentielle Ableitungen über den Fortluftkamin des FRG

Nuklid	Anteile	Aktivitätsfreisetzung [Bq/a]
C-14 (CO ₂)		1,20 · 10 ⁰⁹
H-3 (HTO)		1,50 · 10 ¹¹
<i>langlebige Aerosole</i>	<i>100 %</i>	<i>3,7 · 10⁰⁷</i>
Co-60	25,0 %	9,25 · 10 ⁰⁶
Cs-137	69,5 %	2,57 · 10 ⁰⁷
Sr-90	5,0 %	1,85 · 10 ⁰⁶
Am-241	0,5 %	1,85 · 10 ⁰⁵

Für den Fortluftkamin des FRG ergeben sich Nuklidabgaben für das gesamte Jahr (Ganzjahr) wie in Tabelle 3-4 aufgeführt. Die Nuklidabgabemengen des Sommerhalbjahrs betragen die Hälfte dieser Mengen.

3.3. Quellterm Zerlegehalle

In Tabelle 3-5 sind die beantragten Genehmigungswerte der Ableitungen von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft der Zerlegehalle im bestimmungsgemäßen Betrieb innerhalb eines Kalenderjahres aufgeführt [HER 16].

Tabelle 3-5: Beantragte Genehmigungswerte (Aktivitätsgrenzwerte) der jährlichen Nuklidabgaben (gesamtes Jahr) der Zerlegehalle mit der Fortluft in [Bq]

Quellort	Nuklid/Nuklidgruppe	beantragter Genehmigungswert
Fortluftkamin Zerlegehalle	radioaktive Aerosole	$1,0 \cdot 10^7$
	Tritium (H-3)	$1,0 \cdot 10^8$
	C-14	$1,0 \cdot 10^9$

Gesonderte Werte für die Abgabe während eines Halbjahrs bzw. eines Kalendertags sind nicht beantragt worden. Es wird aber in diesem Bericht davon ausgegangen, dass die Abgabe während eines Halbjahrs bzw. konkret der Wachstumsperiode zwischen 1. Mai und 31. Oktober jeden Jahres (Sommerhalbjahr) die Hälfte der beantragten Genehmigungswerte für das gesamte Jahr und dass die Abgabe während eines Kalendertags jeweils 1 % der beantragten Genehmigungswerte nicht überschreitet. Hinsichtlich der Ableitungen von H-3 und C-14 erfolgt zusätzlich eine Sensitivitätsanalyse, bei der die Ableitungen dieser Nuklide als Kurzzeitableitungen berücksichtigt werden.

Der Nuklidvektor für die potentielle Ableitung von Aerosolen aus der Zerlegehalle wird vom Betreiber in konservativer Auswertung der Angaben in [HER 21] (Basis Tabelle 2 Abschätzung für die Kontamination im Reaktordruckbehälter) folgendermaßen angegeben:

- Cs-137: 84,4 %,
- Co-60: 15 %,
- Am-241: 0,5 % (als Summenparameter für Gesamt-Alpha) und
- Sr-90: 0,1 %.

Der Anteil der anorganischen Fraktion (CO₂) an der C-14-Abgabe wird mit 100 % angenommen (konservative Annahme). H-3 wird zur Berücksichtigung der Exposition durch Ingestion als HTO angenommen.

In Tabelle 3-6 sind die für die Ableitung mit der Fortluft der Zerlegehalle angesetzten Nuklide, deren chemische Form und die Rechenwerte der auf Basis der beantragten Genehmigungswerte ermittelten jährlichen Aktivitätsfreisetzungen angegeben.

Tabelle 3-6: Nuklidspezifische jährliche potentielle Ableitungen über den Fortluftkamin der Zerleghalle

Nuklid	Anteile	Aktivitätsfreisetzung [Bq/a]
C-14 (CO ₂)		1,0 · 10 ⁹
H-3 (HTO)		1,0 · 10 ⁸
langlebige Aerosole	100 %	1,0 · 10 ⁷
Cs-137	84,4 %	8,4 · 10 ⁶
Co-60	15,0 %	1,5 · 10 ⁶
Am-241	0,5 %	5,0 · 10 ⁴
Sr-90	0,1 %	1,0 · 10 ⁴

Für den Fortluftkamin der Zerleghalle ergeben sich Nuklidabgaben für das gesamte Jahr (Ganzjahr) wie in Tabelle 3-6 aufgeführt. Die Nuklidabgabemengen des Sommerhalbjahrs betragen die Hälfte dieser Mengen.

3.4. Vorbelastung

Im Abschnitt 2.7 sind diejenigen Anlagen aufgeführt, aus denen gemäß [MEL 15] eine Vorbelastung insbesondere zu berücksichtigen ist. Von den aufgeführten Anlagen sind Hereon (andere Anlagen als FRG-1 und die Zerleghalle) und die Lagereinrichtungen unmittelbar am Standort lokalisiert, das KKK-Gelände (einschließlich Standortzwischenlager) schließt sich westlich an das Hereon-Gelände an (siehe Abbildung 3-3). Der Fortluftkamin des KKK befindet sich 1120 m westlich und 650 m nördlich des FRG-Fortluftkamins.

Die Anlagen KKB (einschließlich Standortzwischenlager), KKS und KBR befinden sich in folgender Lage zum Standort

- KKB: Entfernung ca. 100 km, Richtung 300°,
- KBR: Entfernung ca. 85 km, Richtung 305° und
- KKS: Entfernung ca. 65 km, Richtung 290°.

Potentielle Ableitungen mit der Fortluft aus diesen Anlagen tragen auf Grund der großen Entfernung nicht zur radiologischen Vorbelastung am Standort bei.

Für das Standortzwischenlager des KKK sind keine radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft im bestimmungsgemäßen Betrieb vorgesehen.

Für den auf dem Gelände des Hereon nach § 7 StrlSchV²⁰⁰¹ (bzw. § 3 StrlSchV²⁰⁰¹ in früheren Ausführungen) genehmigten Umgang (Bereitstellungshalle siehe [MSG 07], HAKONA siehe [MSG 81]) sowie die Einrichtungen der Landessammelstelle (siehe [MSG 97]) sind keine radioaktiven Ableitungen mit der Fortluft im bestimmungsgemäßen Betrieb vorgesehen. Für diese Anlagen bzw. Einrichtungen existieren keine Fortluftanlagen, die eine gezielte Entlüftung der jeweiligen Gebäude ermöglichen.

Für die Sammelstelle (Gebäude 15) liegen Messergebnisse der Aerosolkonzentration sowie der H-3 und C-14 Konzentration in der Innenluft vor (siehe Tabelle 3-7).

Tabelle 3-7: Messergebnisse der Nuklidkonzentration in Gebäude 15

Quartal	C-14 anorg [Bq/m ³]	C-14 org. [Bq/m ³]	H-3 anorg. [Bq/m ³]	H-3 org. [Bq/m ³]
2018-4	8,82	0,366	6,41	2,77
2019-1	13,8	0,584	11,5	6,92
2019-2	16,8	0,614	19,3	9,15
2019-3	23,0	0,770	35,0	14,0
2019-4	11,0	0,370	13,0	7,20
2020-1	1,90	0,370	11,0	6,40
2020-2	16,0	0,480	17,0	8,70
2020-3	20,0	0,520	26,0	11,0
2020-4	18,0	0,840	13,0	8,90
2021-1	14,0	0,510	12,0	7,80
2021-2	17,0	0,440	16,0	8,20

Bei Aerosolen wurde im Zeitraum 2011 bis 2020 (mit wenigen Ausnahmen, die nicht auf den dortigen Umgang zurückzuführen sind) keine Messwerte oberhalb der Nachweisgrenze vorgefunden. Für H-3 wurden im Zeitraum 2018 bis 2020 Aktivitätskonzentrationen zwischen 9,2 Bq/m³ und 49 Bq/m³ (im Mittel 25 Bq/m³, jeweils als Summe der anorganischen und organischen Aktivitätskonzentrationen) vorgefunden. Für C-14 liegen die im gleichen Zeitraum vorgefundenen Aktivitätskonzentrationen zwischen 2,3 Bq/m³ und 24 Bq/m³ (im Mittel 15 Bq/m³ jeweils als Summe der anorganischen und organischen Aktivitätskonzentrationen). Das Volumen des Raumes beträgt 1050 m³. Da keine Zwangsentlüftung und bis auf die Tür keine Lüftungswege existieren und keine permanenten Tätigkeiten im Raum stattfinden, ist von keinem erheblichen Luftdurchsatz auszugehen. Bei einem anzunehmenden (rein durch Gebäudeundichtigkeiten verursachten) Luftdurchsatz von 0,3 h⁻¹ ergeben sich potentielle Freisetzungen von H-3 und C-14 im Bereich 10⁷ Bq pro Jahr als Langzeitemissionen. Die potentiellen Aktivitätsfreisetzungen liegen damit deutlich unter den für die Zerlegehalle beantragten Werten und werden im Rahmen dieses Berichts nicht explizit betrachtet.

Daher ist aus den aufgeführten Anlagen bzw. Einrichtungen auch dann keine signifikante Aktivitätsabgabe gegeben, wenn in der jeweiligen Innenluft die Aktivitätsgrenzwerte nach Anlage 11 Teil D Tabelle 6 StrlSchV (vorher Anlage VII Teil D Tabelle 4 in Verbindung mit § 47 Abs. 4 StrlSchV²⁰⁰¹) ausgeschöpft würden.

Es verbleiben daher als explizit zu berücksichtigenden Vorbelastungen:

- die für die TBH für die Bereitstellung von leicht- und mittelradioaktiven Abfällen möglichen Ableitungen mit der Fortluft und
- die für Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerks Krümmel (KKK) beantragten Aktivitätsgrenzwerte der Ableitungen mit der Fortluft und
- die für das geplante LasmAaZ möglichen Ableitungen mit der Fortluft.

3.4.1. Quellterm TBH

Für die TBH wurde ein Antrag zum Umgang mit radioaktiven Stoffen gemäß § 7 StrlSchV²⁰⁰¹ gestellt. Es wird sichergestellt, dass die zulässigen Aktivitätskonzentrationen für Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft aus Strahlenschutzbereichen gemäß Anlage 11 Teil D StrlSchV im Jahresdurchschnitt nicht überschritten werden. Der Fortluftstrom liegt dabei innerhalb des Bereiches von ca. 5400 m³/h bis 10000 m³/h. Die Absaugung der Raumluft erfolgt mit Hilfe eines Ventilators, der auf der Nordseite der TBH in ca. 7 m Höhe gelagert ist. Dort wird die Fortluft über Dach abgegeben [HER 16B].

Im Rahmen des gestellten Genehmigungsantrags ist die explizite Beantragung von Ableitungswerten nicht erforderlich und daher auch nicht erfolgt. Die Einhaltung der Dosisgrenzwerte durch Ableitungen aus der TBH (allein) ergibt sich aus der Einhaltung der zulässigen Aktivitätskonzentrationen. Bezüglich der Ableitungen aus der TBH ist hier vorgelegte Unterlage daher ebenso als Nachweis zu sehen, dass die Einhaltung der Dosisgrenzwerte auch unter Berücksichtigung der weiteren Ableitungen am Standort (Vorbelastungen im Sinne der Ableitungen aus der TBH) gegeben ist.

Für die TBH ist ein Aktivitätsinventar von ca. $4,9 \cdot 10^{15}$ Bq⁸ vorgesehen. Die Gesamtaktivität wird im Wesentlichen durch die Nuklide H-3 (73 %), Sr-90 (13 %), Ni-63 (9 %), Co-60 (4 %) und Cs-137 (1 %) bestimmt [HER 16B].

Bei der Ermittlung eines Quellterms für potentielle Ableitungen aus der TBH muss berücksichtigt werden, dass die als wesentlich für die TBH aufgeführten Nuklide unterschiedliche Flüchtigkeit aufweisen. Das Nuklid H-3 ist dabei, da es meist chemisch als HTO vorliegt, als sehr flüchtig anzunehmen, die anderen aufgeführten Nuklide liegen dagegen in der Regel als Feststoff vor und weisen im Normalbetrieb nur eine sehr geringe Flüchtigkeit auf (als Aerosole). Ein weiteres flüchtiges Nuklid, das in [HER 16B] nicht explizit aufgeführt ist, aber bei der Quelltermmittlung berücksichtigt werden sollte, ist C-14.

Die Ermittlung des Quellterms für die TBH erfolgt auf Basis der oben aufgeführten Überlegungen folgendermaßen:

- Es wird unterstellt, dass die Aktivitätskonzentration in der Innenluft der TBH die gemäß Anlage 11 Teil D Tabelle 6 StrlSchV im Jahresdurchschnitt einzuhaltenden Werte voll ausschöpft.
- Es wird von einem über das gesamte Jahr konstanten Fortluftstrom von 10000 m³/h ausgegangen. Daher sind die in Anlage 11 Teil D Tabelle 6 StrlSchV aufgeführten Aktivitätskonzentrationen für Abgaben mit der Fortluft mit dem Faktor 10 zu multiplizieren.
- Es wird die Summenformel angewendet. Berücksichtigt werden die Nuklide, die gemäß [HER 16B] den wesentlichen Anteil an der Gesamtaktivität der TBH aufweisen (siehe oben) und zusätzlich C-14.
- Die Aufteilung in der Aktivitätskonzentration in der Innenluft der TBH beträgt:
 - H-3: 90 %,
 - C-14: 9 % und
 - Co-60, Ni-63, Sr-90, Cs-137: je 0,25 %.

⁸ Bezugsdatum 01.01.2014

- Es wird keine Filterung der Fortluft unterstellt.

Der resultierende Quellterm ist in Tabelle 3-8 zusammengefasst. Die Berechnungen beruhen auf einer fiktiven Aktivitätskonzentration von 184 Bq/m^3 in der Innenluftkonzentration und einer Fortlufrate von $10000 \text{ m}^3/\text{h}$ ($8,76 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{a}$) sowie einer ungefilterten Abgabe der Innenluft. Mit diesem Wert der fiktiven Aktivitätskonzentration und den in Tabelle 3-8 aufgeführten Nuklidanteilen ergibt sich eine Ausschöpfung der Summenformel bezüglich der 10-fachen Werte aus Anlage 11 Teil D Tabelle 6 StrlSchV von 100 %.

Tabelle 3-8: Quellterm für Abgaben mit der Fortluft aus der TBH

Nuklid	Anteil in der Innenluftkonzentration	Konzentration Innenluft [Bq/m^3]	Quellterm [Bq/a]	10-facher Wert Anlage 11 Teil D Tabelle 6 StrlSchV [Bq/m^3]	Ausschöpfung Anlage 11 Teil D StrlSchV
H-3	90 %	166	$1,45 \cdot 10^{10}$	1000	16,6 %
C-14	9 %	16,6	$1,45 \cdot 10^9$	60	27,6 %
Co-60	0,25 %	0,460	$4,03 \cdot 10^7$	10	4,6 %
Ni-63	0,25 %	0,460	$4,03 \cdot 10^7$	300	0,2 %
Sr-90	0,25 %	0,460	$4,03 \cdot 10^7$	1	46,0 %
Cs-137	0,25 %	0,460	$4,03 \cdot 10^7$	9	5,1 %

Der Anteil der anorganischen Fraktion (CO_2) an der C-14-Abgabe wird mit 100 % angenommen (konservative Annahme). H-3 wird zur Berücksichtigung der Exposition durch Ingestion als HTO angenommen.

Der für die Abgaben mit der Fortluft aus der TBH ermittelte Quellterm gibt die (unter Berücksichtigung einer plausiblen Nuklidzusammensetzung) bezüglich der Genehmigungslage maximal möglichen Abgaben an und wird als Berechnungsgröße für die Vorbelastung im vorliegenden Bericht verwendet. Dieser Ansatz geht in der Konservativität über die Anforderungen aus Kapitel 2.4 in [AVV 12] (Verwendung von Erfahrungswerten oder realistischen Planungswerten) hinaus. Daher sind auch ggf. mögliche Abweichungen in der Nuklidzusammensetzung gegenüber den Annahmen aus Tabelle 3-8 abgedeckt.

3.4.2. Quellterm KKK

Im Genehmigungsantrag für Stilllegung und Abbau für KKK wurden Aktivitätsgrenzwerte der Ableitungen von radioaktiven Stoffen mit der Fortluft im bestimmungsgemäßen Betrieb beantragt [KKK 15]. Da die bei Beendigung des Leistungsbetriebs vorhandenen Aktivitäten der Iod-Isotope in den Brennelementen durch radioaktiven Zerfall innerhalb weniger Wochen stark zurückgehen und eine Neubildung des Isotops I-131 und weiterer Iod-Isotope durch Spontanspaltung von Transuranen nur in sehr geringem Maße erfolgt, wurden keine Aktivitätsgrenzwerte für Ableitungen von Iod-Isotopen mit der Fortluft beantragt.

Weiterhin wurden durch KKK Werte für 180 aufeinanderfolgende Tage und für einen Kalendertag (Aerosole) beantragt. In Tabelle 3-9 sind die für KKK beantragten Genehmigungswerte aufgeführt.

Tabelle 3-9: Beantragte Genehmigungswerte (Aktivitätsgrenzwerte) für Abgaben des KKK mit der Fortluft in [Bq]

Quellort	Nuklid/ Nuklidgruppe	Kalenderjahr	Innerhalb von 2 Quartalen bzw. 180 aufeinander- folgenden Tagen	Kalendertag
Fortluftkamin	radioaktive Gase	$4,5 \cdot 10^{13}$	$2,3 \cdot 10^{13}$	
	radioaktive Aerosole	$1,5 \cdot 10^{10}$	$7,4 \cdot 10^9$	$1,5 \cdot 10^8$

In Tabelle 3-10 sind die für die Ableitung mit der Fortluft des KKK angesetzten Nuklide, deren chemische Form und die Rechenwerte der auf Basis der beantragten Genehmigungswerte ermittelten jährlichen Aktivitätsfreisetzungen angegeben. Der Anteil der einzelnen Nuklide an der Gesamt-Aerosolabgabe wurde abdeckend für den Restbetrieb gewählt. Die Abgaben von H-3 bzw. C-14 wurden konservativ anhand der für den bisherigen Betrieb des KKK gemessenen Abgaben ermittelt. Der Anteil der anorganischen Fraktion (CO₂) an der C-14-Abgabe wird mit 100 % angenommen (konservative Annahme). H-3 wird zur Berücksichtigung der Exposition durch Ingestion als HTO angenommen.

Tabelle 3-10: Nuklidspezifische jährliche potentielle Ableitungen über den Fortluftkamin des KKK

Nuklid	Anteile	Aktivitätsfreisetzung [Bq/a]
<i>radioaktive Gase</i>		$4,50 \cdot 10^{13}$
Kr-85		$3,66 \cdot 10^{13}$
C-14 (CO ₂)		$1,00 \cdot 10^{12}$
H-3 (HTO)		$7,40 \cdot 10^{12}$
<i>langlebige Aerosole</i>	100 %	$1,5 \cdot 10^{10}$
Co-60	28,3 %	$4,24 \cdot 10^9$
Cs-137	69,6 %	$1,04 \cdot 10^{10}$
Sr-90	2,0 %	$3,03 \cdot 10^8$
Am-241	0,1 %	$1,50 \cdot 10^7$

Im derzeitigen Betriebszustand des KKK gelten die Genehmigungswerte des Leistungsbetriebs fort. Diese unterscheiden sich von den für Stilllegung und Rückbau beantragten Werten dadurch, dass die maximal erlaubte Jahresabgabe für radioaktive Gase im Leistungsbetrieb bei $1,48 \cdot 10^{15}$ Bq liegt und dort außerdem eine maximale Jahresabgabe für I-131 von $9,62 \cdot 10^9$ Bq erlaubt ist. Eine Abgabe von I-131 und radioaktiven Edelgasen außer Kr-85 ist aus dem derzeitigen Betriebszustand des KKK (kein Leistungsbetrieb seit Juli 2009 und geplante Stilllegung und Abbau) nicht möglich, eine potentielle Ausschöpfung der erlaubten Abgabewerte für radioaktive Gase durch Kr-85 ist radiologisch ohne Bedeutung. Daher ist die Berücksichtigung der beantragten Abgabewerte des KKK zur Ermittlung der Vorbelastung sachgerecht.

3.4.3. Quellterm LasmAaZ

Für das LasmAaZ wurde durch den Betreiber ein Antrag zum Umgang mit radioaktiven Stoffen gemäß § 7 StrlSchV²⁰⁰¹ gestellt. Es wird sichergestellt, dass die zulässigen Aktivitätskonzentrationen für Ableitungen radioaktiver Stoffe mit Luft aus Strahlenschutzbereichen gemäß Anlage 11 Teil D StrlSchV im Jahresdurchschnitt nicht überschritten werden. Der Fortluftstrom liegt dabei bei $\leq 10000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Die Ermittlung eines Quellterms für das LasmAaZ erfolgt analog zum Vorgehen in Abschnitt 3.4.1 (Quellterm TBH). Es wird eine Fortluftmenge von $10000 \text{ m}^3/\text{h}$ unterstellt und eine Vollausschöpfung der zulässigen Aktivitätsgrenzwerte sowohl für Aerosole als auch für Gase angenommen. Die entsprechenden potentiellen Aktivitätsabgaben sind in Tabelle 3-11 zusammengestellt.

Tabelle 3-11: Quellterm für Abgaben mit der Fortluft aus dem LasmAaZ

Nuklid	10-facher Wert Anlage 11 Teil D Tabelle 6 StrlSchV [Bq/m ³]	Anteil	Quellterm [Bq/a]	Ausschöpfung Grenzwert
radioaktive Aerosole				
Co-60	10	68,79 %	$2,31 \cdot 10^7$	2,64 %
Cs-137	9	29,48 %	$9,90 \cdot 10^6$	1,26 %
Sr-90	1	0,73 %	$2,45 \cdot 10^5$	0,28 %
Am-241	0,004	1,00 %	$3,36 \cdot 10^5$	95,83 %
radioaktive Gase				
C-14	60	12 %	$3,65 \cdot 10^9$	69,4 %
H-3	1000	88 %	$2,68 \cdot 10^{10}$	30,6 %

Der Anteil der anorganischen Fraktion (CO₂) an der C-14-Abgabe wird mit 100 % angenommen (konservative Annahme). H-3 wird zur Berücksichtigung der Exposition durch Ingestion als HTO angenommen.

Der für die Abgaben mit der Fortluft aus dem LasmAaZ ermittelte Quellterm gibt die (unter Berücksichtigung einer plausiblen Nuklidzusammensetzung) bezüglich der Genehmigungslage maximal möglichen Abgaben an und wird als Berechnungsgröße für die Vorbelastung im vorliegenden Bericht verwendet. Dieser Ansatz geht in der Konservativität über die Anforderungen aus Kapitel 2.4 in [AVV 12] (Verwendung von Erfahrungswerten oder realistischen Planungswerten) hinaus. Daher sind auch ggf. mögliche Abweichungen in der Nuklidzusammensetzung gegenüber den Annahmen aus Tabelle 3-11 abgedeckt.

3.5. Einfluss des Geländes und der Gebäude

Der in der Umgebung des Standorts anzutreffende Geländeverlauf erfordert eine Berücksichtigung des Gelände- bzw. Gebäudeeinflusses bei den Ausbreitungsberechnungen. In bisherigen Berechnungen ([BS 15]) erfolgte diese in Anlehnung an [AVV 12] durch eine auf 50 m verringerte effektive Emissionshöhe (Kaminhöhe 60 m). Dieses Vorgehen ist für Ableitungen aus dem Fortluftkamin des

FRG und Berechnungen in der Standortumgebung konservativ gegenüber dem in [AVV 12] Abschnitt 4.6.4 vorgesehenen Verfahren⁹, da die umgebenden Geländehöhen (GOK) mit ca. 60 mNN um maximal ca. 10 m über der Geländehöhe im Bereich des Fortluftkamins des FRG (49 m) liegen.

Für Ableitungen aus dem Fortluftkamin des KKK könnte dieses Verfahren ebenfalls angewandt werden. Der Fortluftkamin des KKK weist eine Höhe von 150 m auf, die Geländehöhe in der Umgebung liegt bei 8,5 mNN. Für die in diesem Bericht durchgeführten Berechnungen wird jedoch das in [AVV 12] Abschnitt 4.6.4 vorgesehenen Verfahren umgesetzt, da Ableitungen an fünf teilweise bis mehr als 1000 m auseinanderliegenden Orten mit verschiedenen Geländehöhen zu berücksichtigen sind.

Bei diesem Verfahren wird unterstellt, dass sich die Fahne geradlinig, also unbeeinflusst, vom Gelände bewegt. Bewegt sich die Fahne auf eine Erhebung zu, dann vermindert sich der Abstand zwischen Fahnenachse und Boden entsprechend dem Anstieg des Geländes. Für labile und neutrale Ausbreitungssituationen (Diffusionskategorie A bis D) umfasst diese Abstandsverminderung maximal die halbe effektive Emissionshöhe. Für stabile und sehr stabile Ausbreitungssituationen (Diffusionskategorie E und F) kann die Fahnenachse im Extremfall den Boden erreichen.

Im Ergebnis steigt die Bodenkonzentration wegen des geringeren Abstandes zur Fahnenachse an. Der Konzentrationsanstieg relativ zu einer Betrachtung ohne Berücksichtigung der Topographie ist bei sehr stabilen Ausbreitungsbedingungen besonders groß und nimmt bei allen Ausbreitungsbedingungen mit zunehmendem Abstand des betrachteten Aufpunkts von der Quelle ab. Dies führt dazu, dass in Abhängigkeit von der topographischen Höhe und vom Abstand des Aufpunkts zur Quelle, unterschiedliche Ausbreitungssituationen die höchsten Beiträge zur bodennahen Konzentration und damit zur trockenen Ablagerung liefern.

Die für die Berücksichtigung des Geländeeinflusses notwendigen Daten wurden aus dem digitalen Geländemodell mit einer 10 m Rasterung (DGM10) des Landesamts für Vermessung und Geoinformation [LVG 16] entnommen und für die Verwendung in BSAVVL aufbereitet. Im Ausgleich werden für alle in dieser Berechnung betrachteten Emissionen die realen Emissionshöhen (d. h. keine korrigierten Emissionshöhen) verwendet.

Die in [AVV 12] beschriebene Methode stellt eine Näherung dar, die für ein Gauß-Fahnenmodell mit horizontal homogenen Windvektoren angewendet werden kann. Dieses Verfahren berücksichtigt nicht die durch das Gelände ggf. auftretende Inhomogenität in der horizontalen Windrichtung und der Windgeschwindigkeit. Eine Diskussion hinsichtlich der damit verbundenen Unsicherheiten wird in Abschnitt 4.2 geführt.

Gebäude, die sich in der Nähe der Quelle befinden, beeinflussen die Ausbreitung, sofern ihre Ausdehnung hinreichend groß und der Abstand zwischen Gebäude und Quelle klein genug ist. Ein Gebäudeeinfluss ist gemäß [AVV 12], Abschnitt 4.6.2 dann zu berücksichtigen, wenn die Emissionshöhe H kleiner als das Zweifache der Gebäudehöhe H_G ist. Ein Einfluss auf alle Sektoren ergibt sich dann, wenn sich die horizontale Quellposition direkt auf dem Gebäudedach oder im Abstand von

⁹ Reduzierung der effektiven Emissionshöhe um die jeweilige Geländehöhendifferenz, jedoch auf minimal auf die halbe tatsächliche Emissionshöhe für labile und neutrale Ausbreitungsklassen bzw. 0 für stabile Ausbreitungsklassen.

kleiner $I_G/4$ vom Gebäude befindet. I_G ist dabei der kleinere Wert der Gebäudebreite in Anströmrichtung und der Gebäudehöhe. Ein Einfluss der unmittelbar in Ausbreitungsrichtung liegenden oder um 180° dazu versetzt liegenden Gebäude ergibt sich, wenn sich die horizontale Quellposition im Abstand von kleiner $3I_G$ vom Gebäude befindet.

Der Gebäudeeinfluss wird dadurch berücksichtigt, dass die Emissionshöhe H durch:

$$h' = 0,5 \cdot [3 \cdot H - (H_G + I_G)] \text{ für } H_G \leq H \leq 2 \cdot H_G$$

hin zu einer kleineren effektiven Emissionshöhe h' korrigiert wird.

Eine Reduzierung der Emissionshöhe führt bei sonst gleichen Parametern in den Ausbreitungsrechnungen unter den gegebenen Bedingungen zur Erhöhung der bodennahen Konzentration und damit auch zur Erhöhung des Falloutfaktors. Der Washoutfaktor wird durch die Berücksichtigung von Gebäuden nicht direkt¹⁰ beeinflusst, da bei dessen Berechnung neben der horizontalen Mittelung über den Sektor auch eine vertikale Summierung über die komplette Ausbreitungsschicht auftritt, so dass vertikale Vermischungen keinen Einfluss haben.

Ist die berechnete effektive Emissionshöhe kleiner als die Gebäudehöhe, so sind entsprechend [AVV 12] zusätzlich die Ausbreitungsparameter σ_y (bei Kurzeitenausbreitungen) und σ_z (sowohl bei Langzeit- als auch bei Kurzeitenausbreitungen) zu korrigieren. Dadurch wird eine höhere Vermischung der Abluftfahne durch den Gebäudeeinfluss in kurzen Abständen zum Emissionsort berücksichtigt. Bei bodennaher Freisetzung führt dies zu einer geringeren bodennahen Konzentration an möglichen Aufpunkten. Bei großen Freisetzungshöhen wird die bodennahe Konzentration an möglichen Aufpunkten dagegen erhöht.

Gebäude in der Umgebung des Fortluftkamins des FRG weisen gemäß einer vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Liste eine maximale Höhe von 18 m auf (Gebäude 47), wobei durch unterschiedliche Geländehöhen (Gebäude 47: 59 mNN) eine minimale Höhendifferenz zur Ableitungsstelle von 30 m gegeben ist. Die Entfernung dieser Gebäude zum Fortluftkamin des FRG ist größer als 100 m (Gebäude 23) bzw. größer als 400 m (Gebäude 47). Unter diesen Bedingungen muss gemäß in [AVV 12] Abschnitt 4.6.2 kein Gebäudeeinfluss berücksichtigt werden.

Die geplante Zerlegehalle soll direkt an das bestehende Gebäude 44, die Halle für Komponentennachuntersuchung (HAKONA-Halle) anschließen. Es ist eine Höhe von ca. 11 m und eine horizontale Ausdehnung von ca. 20 m x 23 m (für den 11 m hohen Teil) geplant [VOS 13]. Das unmittelbar anschließende Gebäude 44 weist eine horizontale Ausdehnung von ca. 50 m x 12 m und eine Höhe von ca. 9 m auf. Die daraus abzuleitenden Parameter für die Berechnungen gemäß [AVV 12], Abschnitt 4.6.2 sind $H_g = I_g = 11$ m.

Die TBH schließt sich südlich an die Reaktorhalle an. Die Höhe der TBH beträgt 8 m, die horizontale Ausdehnung von 28 m x 31 m [HER 16B]. Die Reaktorhalle befindet sich in ca. 40 m Entfernung vom Zentrum der TBH und hat eine Abmessung von ca. 23 m x 38 m bei einer Höhe von ca. 20 m [HER 16C]. Daher ist hier eine Beeinflussung durch die Reaktorhalle in den Sektoren 1 und 7 gegeben. In den anderen Sektoren ist nur eine Beeinflussung durch die TBH selbst gegeben. Die daraus

¹⁰ Eine indirekte Beeinflussung ist dann gegeben, wenn die tatsächliche Emissionshöhe größer als 50 m und die korrigierte Emissionshöhe kleiner als 180 m ist. Hier werden für die korrigierte Emissionshöhe gemäß [AVV 12] veränderte Ausbreitungskoeffizienten und Exponenten berechnet.

abzuleitenden Parameter (Ableitung über Dach im Zentrum der TBH) für die Berechnungen gemäß [AVV 12], Abschnitt 4.6.2 sind

- für die Sektoren 2 bis 6 und 8 bis 12: $H_g = I_g = 8$ m und
- für die Sektoren 1 und 7: $H_g = I_g = 20$ m.

Die Ableitungen über den Fortluftkamin des KKK erfolgen in 150 m Höhe. Da in der gemäß [AVV 12] zu berücksichtigenden Entfernung keines der Gebäude die halbe Emissionshöhe erreicht, ist hier kein Gebäudeeinfluss zu berücksichtigen. Gebäude, die von der Höhe her zu berücksichtigen wären, liegen zu weit weg.

Das LasmAaZ soll unmittelbar nordöstlich des bestehenden Standortzwischenlager Krümmel (SZK) am bzw. im Geesthang errichtet werden. (Lage der angenommenen Fortluftführung des LasmAaZ siehe Abbildung 3-3). Die geplante Höhe über Gelände liegt bei 12 m, die horizontale Ausdehnung bei ca. 48 m x 65 m. Der Abstand zu Gebäuden des KKK mit größerer Ausdehnung als des LasmAaZ beträgt mehr als 36 m. Die daraus abzuleitenden Parameter (Ableitung über Dach im Zentrum des LasmAaZ) für die Berechnungen gemäß [AVV 12], Abschnitt 4.6.2 sind für alle Sektoren $H_g = I_g = 12$ m.

3.6. Emissionsorte

Potentielle und tatsächliche Abgaben von Aktivität erfolgen über:

- den Fortluftkamin des FRG in 60 m Höhe,
- die geplante Fortluftableitung der Zerlegehalle in 13 m Höhe,
- die Fortluftabgabe der TBH über dem Dach in 8 m Höhe,
- den Fortluftkamin des KKK in 150 m Höhe und
- die geplante Fortluftableitung des LasmAaZ in 15 m Höhe.

Die Abgaben werden dabei bei der Anwendung der Rechenvorschriften des Gauss-Fahnenmodells der AVV als impuls- und wärmelose Punktquelle angenommen (siehe hierzu auch Abschnitt 3.1), d. h. es wird keine Fahnenüberhöhung im Sinne der AVV berücksichtigt. Die Lage des Emissionsorts kann Abbildung 3-2 und Abbildung 3-3 entnommen werden.

3.7. Berücksichtigung der Betriebsdauer

Gemäß [AVV 12] ist bei Expositionspfaden, die mit einer Anreicherung in der Umwelt verbunden sind (Exposition durch γ -Bodenstrahlung und Exposition durch Ingestion bei Aufnahme der Radionuklide durch die Nutzpflanzen über den Boden), eine 50-jährige Akkumulationszeit vor dem Bezugsjahr zu berücksichtigen, was in den Formeln und Parametern in [AVV 12] umgesetzt wird. Die vorliegenden Berechnungen sind daher formell auf eine Akkumulationszeit von 50 Jahren beschränkt. Eine längere Akkumulation, die sich potentiell aus der Betriebszeit des FRG 1 und der Dauer von Stilllegung und Abbau des FRG 1 ergeben kann, wird nicht explizit berücksichtigt.

Demgegenüber gehen die Berechnungen jedoch von einer 50-jährigen Akkumulation bei ständiger vollständiger Ausschöpfung der beantragten Ableitungswerte aus. Für Aerosole entsprechen diese beantragten Ableitungswerte den während des Betriebs genehmigten Ableitungswerten, so dass hier

hinsichtlich der bei den Berechnungen berücksichtigten Akkumulation kein Unterschied zwischen Betrieb und Stilllegung besteht. Für Gase und I-131 ist eine Akkumulation nicht relevant.

Die tatsächlichen Aerosol-Ableitungen des FRG 1 lagen jedoch seit 1975 maximal bei $1 \cdot 10^7$ Bq pro Jahr (im Mittel bis 1990 bei ca. $1 \cdot 10^6$ Bq pro Jahr, für spätere Zeitpunkte bei weniger als $1 \cdot 10^5$ Bq pro Jahr [HER 13A], [HER 15]). Das bedeutet, dass seit 40 Jahren die Ausschöpfung der genehmigten Ableitungswerte im Mittel unter 1 % liegt. Daher ist auch für eine Betriebsdauer von mehr als 50 Jahren die Verwendung der AVV-Berechnungsvorschrift weiter gerechtfertigt.

Für KKK sind die jeweiligen jährlichen Aerosolableitungen in den Parlamentsberichten „Umweltra dioaktivität und Strahlenbelastung“ dokumentiert. Während der Betriebsphase des KKK (1984 bis 2007¹¹) lagen die ermittelten Aerosolableitungen im Bereich 10^7 Bq pro Jahr (Ausnahme 1997, ca. $1,5 \cdot 10^8$ Bq [DBT 98]). Seit 2008 sind Aerosolableitungen im Bereich 10^6 Bq pro Jahr dokumentiert. Das bedeutet, dass seit 35 Jahren die Ausschöpfung der genehmigten Ableitungswerte ($1,5 \cdot 10^{10}$ Bq im Jahr) im Mittel deutlich unter 1 % liegt. Daher ist auch bei KKK für eine Betriebsdauer von mehr als 50 Jahren die Verwendung der AVV-Berechnungsvorschrift weiter gerechtfertigt.

3.8. Meteorologische Daten zur Langzeitausbreitungsberechnung

3.8.1. Verwendete Daten und prinzipielles Vorgehen

Die Ermittlung der meteorologischen Parameter am Standort Hereon erfolgt durch Messung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung in ca. 18 m über GOK, der Messung der Strahlungsbilanz sowie über eine Instrumentierung zur Messungen der Niederschlagsintensität. Aus diesen Daten wurde vom Messgerätebetreiber die Ausbreitungsklasse ermittelt. Anschließend wurden die folgenden Daten:

- Windgeschwindigkeit in 18 m über GOK,
- Windrichtung in 18 m über GOK,
- Ausbreitungsklasse und
- Niederschlagsintensität

als Stundenwerte für den Zeitraum zwischen dem 01.01.2010 und dem 31.12.2014 zur Verfügung gestellt.

Ergänzend wurden durch Hereon die Daten:

- Windgeschwindigkeit in 18 m über GOK,
- Windrichtung in 18 m über GOK,
- Strahlungsbilanz und
- Niederschlagsintensität

als 10-Minuten-Werte für den Zeitraum zwischen dem 01.01.2015 und dem 31.12.2018 zur Verfügung gestellt. Aus diesen Werten wurden gemäß KTA 1508 [KTA 17] Stundenmittelwerte gebildet und die Ausbreitungsklasse gemäß KTA 1508, Tabelle 7-4 ermittelt.

¹¹ bezogen auf den durchgängigen Leistungsbetrieb, formelle Einstellung des Leistungsbetriebs 2011

Zur Verwendung der meteorologischen Parameter für Ausbreitungs- und Dosisberechnungen nach [AVV 12] wird aus der Zeitreihe eine 4-parametrische Statistik erstellt. Klasseneinteilungen für Windrichtung und Niederschlagsintensität erfolgten dabei gemäß KTA 1508. Die Klasseneinteilung für die Windgeschwindigkeit erfolgt nach TA-Luft¹² [BMU 02]. Allerdings wurde konservativ abweichend von den Vorgaben der TA-Luft der Klassenwert für die Klasse mit den geringsten Windgeschwindigkeiten auf 0,5 m/s (anstatt 1 m/s) gesetzt, um hier mit den KTA 1508-Klassen (Klassenbereich 0 m/s bis 1 m/s) kompatibel zu sein.

Datensätze, in denen in der Zeitreihe sowohl Windgeschwindigkeit als auch Windrichtung mit 0 angegeben sind, werden als Kalmen (Windstillen) interpretiert. Diese werden der jeweiligen Ausbreitungsklasse und Niederschlagsintensitätsklasse in der Windgeschwindigkeitsklasse < 1,4 m/s zugeordnet, der Windrichtungssektor wird dabei gleichverteilt zufällig gewählt.

3.8.2. Ausbreitungsstatistiken

Aus den Stundenmittelwerten wurde eine 4-parametrische Statistik für den Zeitraum des gesamten Jahres (Ganzjahr) und eine 4-parametrische Statistik für den Zeitraum des Sommerhalbjahrs (1. Mai bis 31. Oktober, Sommerhalbjahr) gebildet. Die 4-parametrischen Ausbreitungsklassenstatistiken berücksichtigen 12 Windrichtungssektoren, 9 Windgeschwindigkeitsklassen und 6 Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier. Die Windrichtungen werden in 30°-Sektoren im Uhrzeigersinn nummeriert, beginnend mit Sektor 1 in Richtung Nord (0°). Die Niederschlagsintensitätsklassen umfassen die Bereiche gemäß KTA 1508 und die Windgeschwindigkeitsklassen die Bereiche gemäß TA-Luft.

In Tabelle 3-12 sind die über den gesamten Jahreszeitraum (Ganzjahr) und das Sommerhalbjahr gemittelte Windgeschwindigkeit sowie die Niederschlagsmenge für beide Betrachtungszeiträume zusammengefasst. Die Verfügbarkeit der Messungen ist über den gesamten Zeitraum > 99 %.

¹² Die Klasseneinteilung für die Windgeschwindigkeit in [KTA 17] ist für Messungen in Höhe der Fortluftkamine bei Kernkraftwerken angepasst, die Klasseneinteilung für die Windgeschwindigkeit gemäß [BMU 02] dagegen für deutlich niedrigere Messhöhen.

Tabelle 3-12: Mittlere Windgeschwindigkeit in 18 m Höhe sowie jährliche Niederschlagssumme für die Jahre 2010 bis 2018 am Standort

Jahr	mittlere Windgeschwindigkeit in m/s		Niederschlag in mm	
	Ganzjahr	Sommerhalbjahr	Ganzjahr	Sommerhalbjahr
2010	2,6	2,4	849	524
2011	2,7	2,4	565	344
2012	2,5	2,2	635	356
2013	2,5	2,3	650	377
2014	2,6	2,2	574	330
2015	2,9	2,4	749	404
2016	2,6	2,2	579	298
2017	2,6	2,4	908	582
2018	2,5	2,3	495	232
Mittelwert	2,6	2,3	667	383

Die mittlere Windgeschwindigkeit für den Gesamtzeitraum (Ganzjahr) beträgt in 10 m Höhe 2,6 m/s. Für das Sommerhalbjahr wird ein Mittelwert von 2,3 m/s bestimmt. Die Mittelwerte der einzelnen Jahre schwanken im Vergleich dazu geringfügig.

Die mittlere Jahresniederschlagsmenge beträgt 667 mm, die mittlere Niederschlagsmenge im Sommerhalbjahr 383 mm. Insbesondere weichen die Jahre 2010 und 2017 (deutlich mehr Niederschlag) und 2014 und 2018 (deutlich weniger Niederschlag) vom Mittel des Betrachtungszeitraums ab. Die Berücksichtigung des Zeitraums 2010 bis 2018 als repräsentativ ist demnach hinsichtlich des Niederschlags möglich.

Die Station Hamburg-Fuhlsbüttel (ca. 40 km nordwestlich des Standorts und demnach küstennäher) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) weist im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2018 eine mittlere Jahresniederschlagsmenge von 735 mm und eine mittlere Niederschlagsmenge im Sommerhalbjahr von 400 mm auf [DWD 20].

Die Station Wendisch Evern (ca. 30 km südlich des Standorts) des DWD weist im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2018 eine mittlere Jahresniederschlagsmenge von 658 mm und eine mittlere Niederschlagsmenge im Sommerhalbjahr von 360 mm auf [DWD 20A]. Die Station Winsen/Luhe (ca. 15 km südwestlich des Standorts) des DWD weist im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2018 eine mittlere Jahresniederschlagsmenge von 665 mm und eine mittlere Niederschlagsmenge im Sommerhalbjahr von 380 mm auf [DWD 20B]. Für beide DWD-Stationen liegen die Niederschlagsmengen sehr nah an dem für den Standort ermittelten Werten. Für beide Stationen werden 2010 und 2017 sowie 2014 und 2018 ähnliche Abweichungen zum Mittelungszeitraum 2010 bis 2018 wie am Standort beobachtet.

Die Ergebnisse der Auswertungen der meteorologischen Daten sind in Abbildung 3-5 bis Abbildung 3-9 wiedergegeben. Abbildung 3-5 enthält die Häufigkeit der Windrichtung für das Ganzjahr und das

Sommerhalbjahr in Form einer Windrose. In Abbildung 3-6 ist die Häufigkeit der Windgeschwindigkeitsklassen dargestellt. Die Werte wurden in einer Höhe von 10 m ermittelt. In Abbildung 3-7 ist die Häufigkeit der einzelnen Ausbreitungsklassen wiedergegeben. Schließlich zeigt Abbildung 3-8 die Niederschlagsmengen in den einzelnen Sektoren und Abbildung 3-9 die Häufigkeit des Auftretens einzelner Niederschlagsintensitätsklassen.

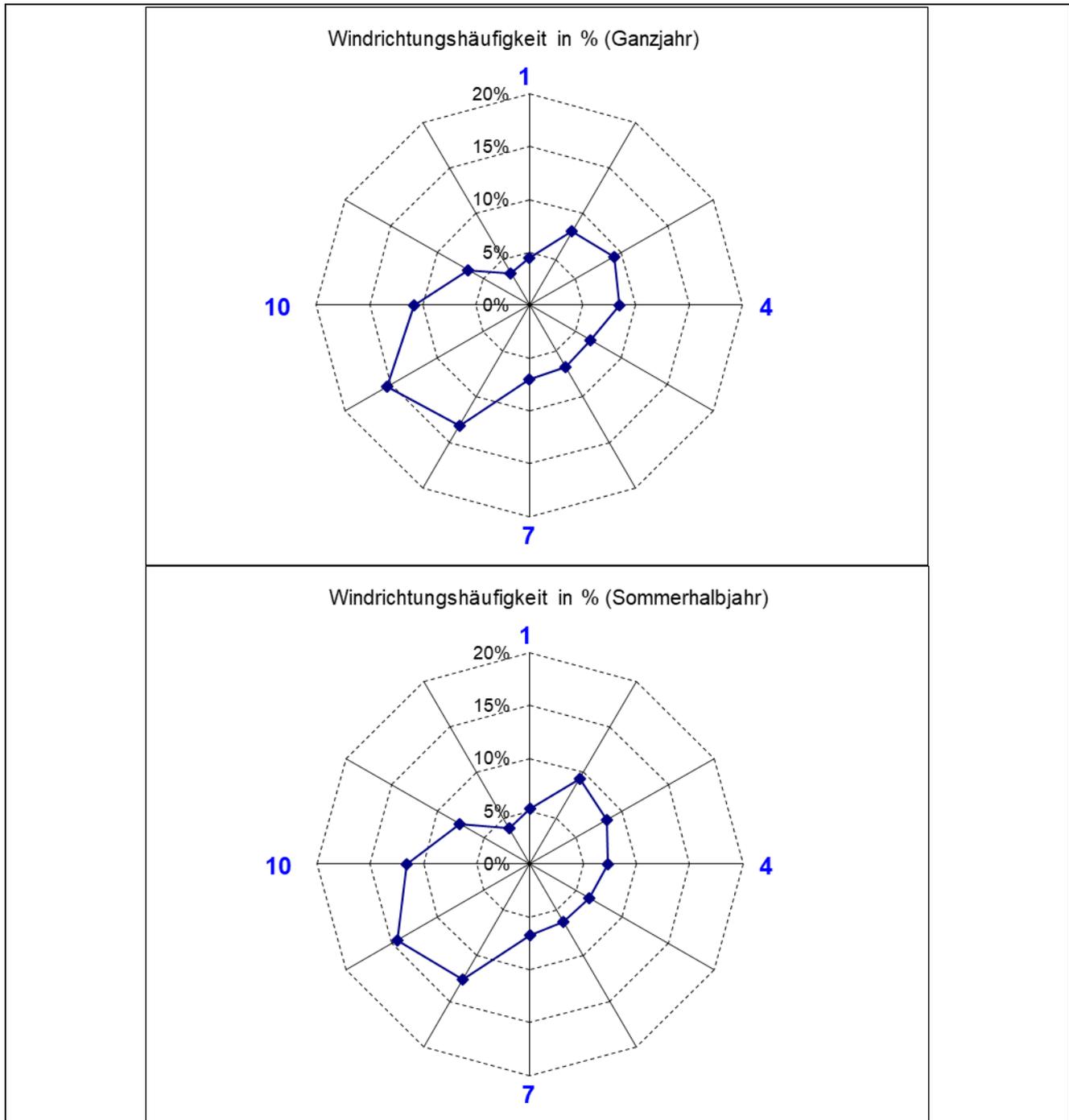


Abbildung 3-5: Windrichtungshäufigkeit am Standort; Messhöhe 18 m über Grund; oben: Ganzjahr, unten: Sommerhalbjahr

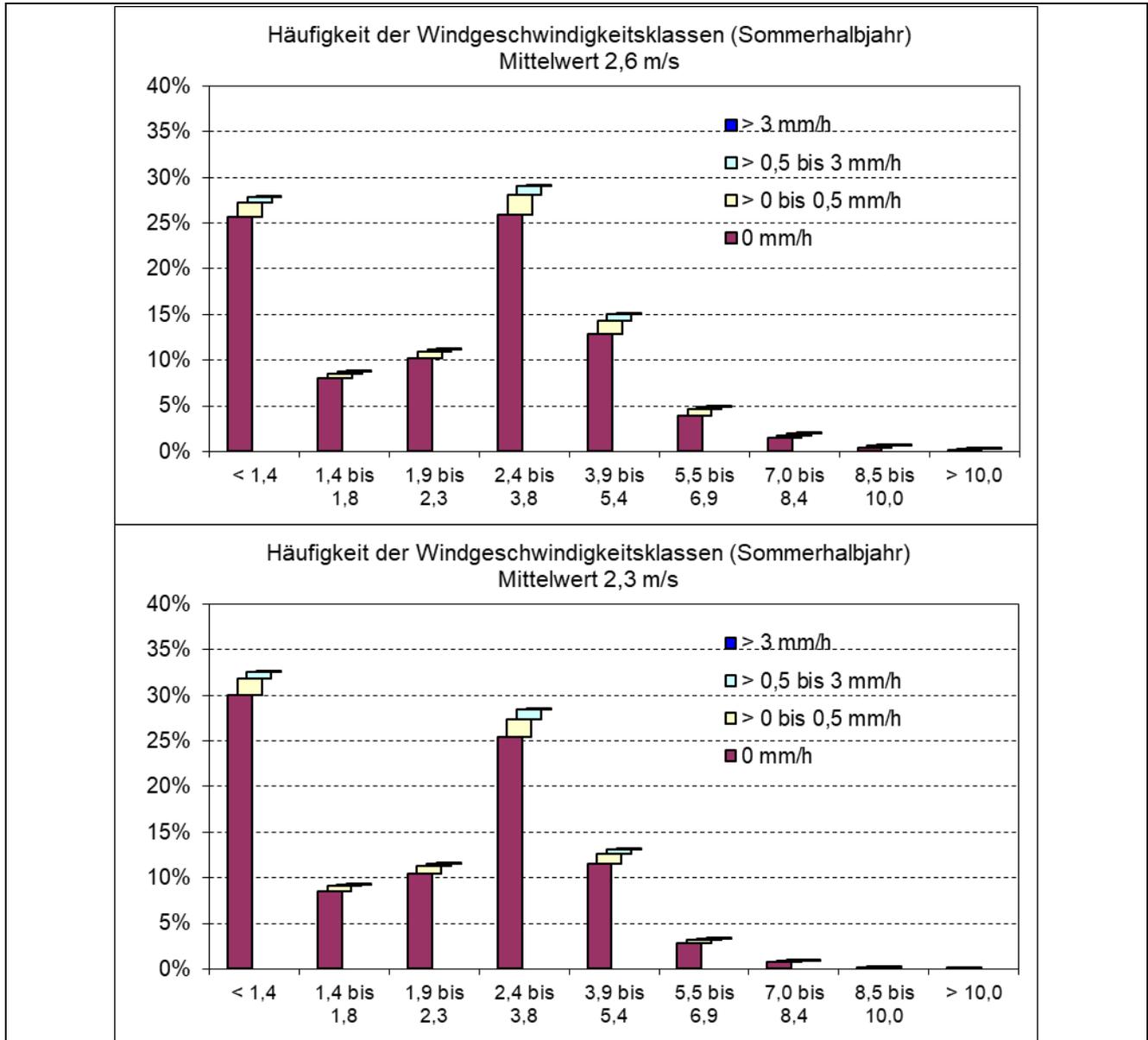


Abbildung 3-6: Häufigkeit der Windgeschwindigkeitsklassen (untergliedert nach Niederschlagsintensitätsklassen) am Standort; Messhöhe 18 m über Grund; oben: Ganzjahr, unten: Sommerhalbjahr

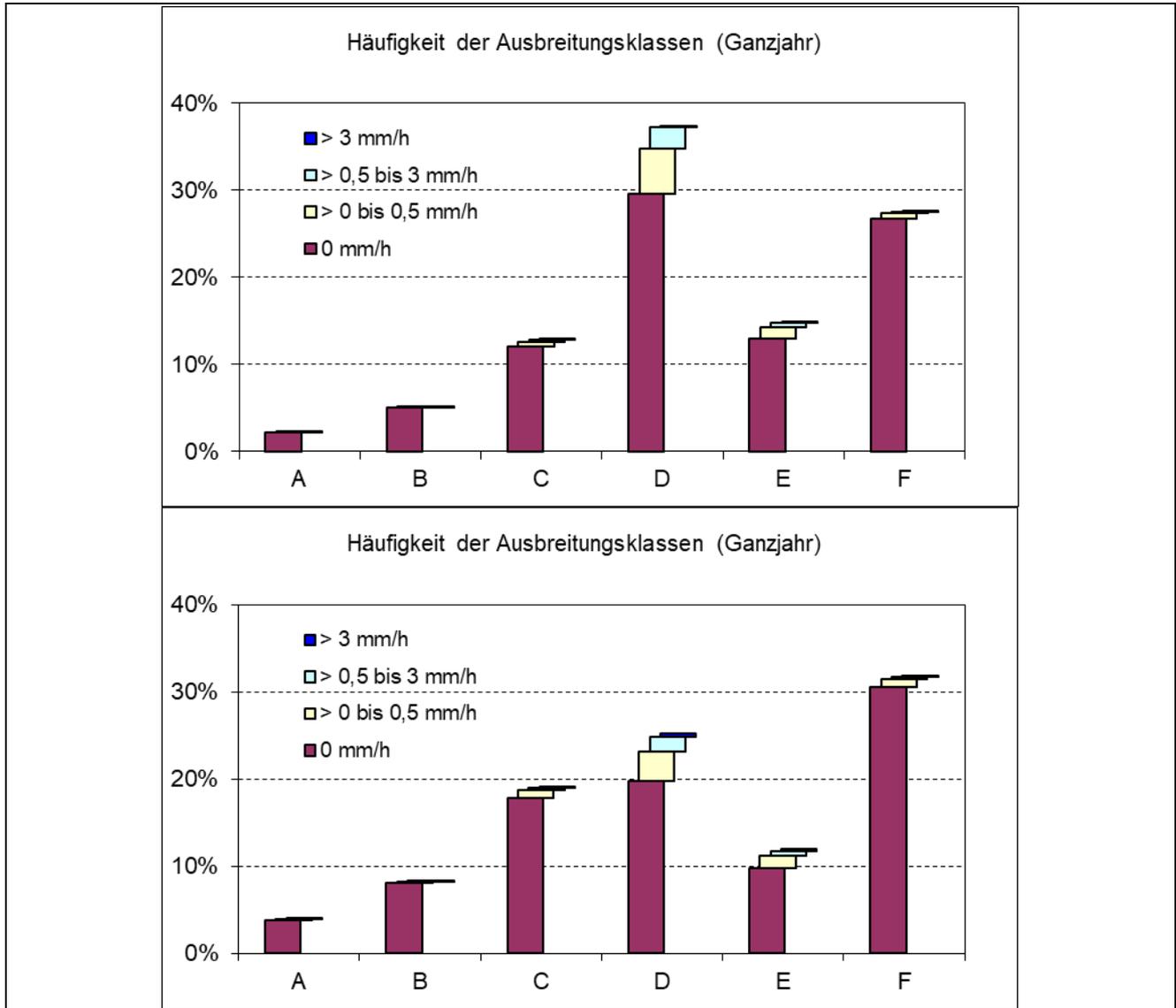


Abbildung 3-7: Häufigkeit der Ausbreitungsklassen A - F (untergliedert nach Niederschlagsintensitätsklassen) am Standort; oben: Ganzjahr, unten: Sommerhalbjahr

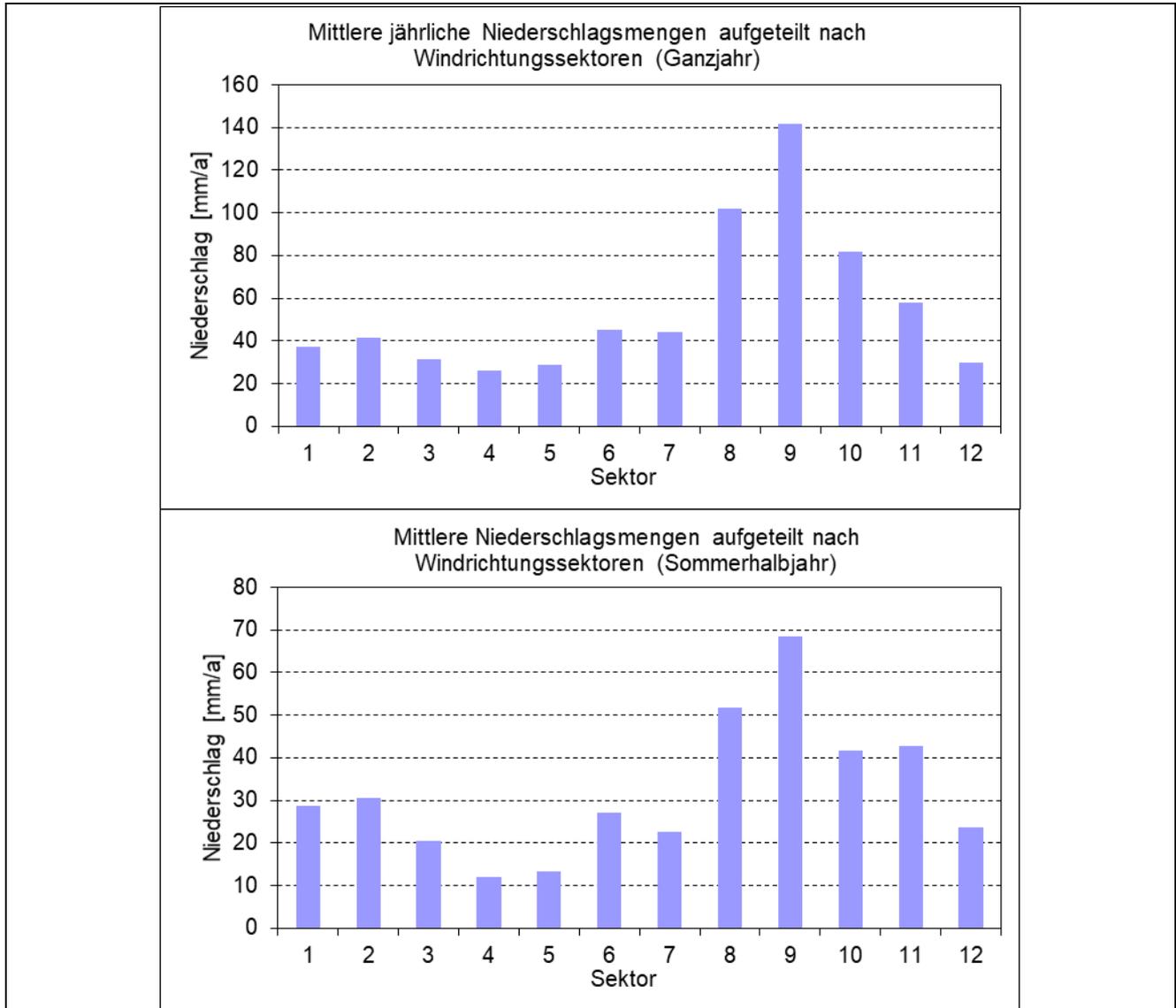


Abbildung 3-8: Niederschlagsmengen in [mm] am Standort separat nach Windrichtungssektoren; oben: Ganzjahr, unten: Sommerhalbjahr

Nach Abbildung 3-5 sind südwestliche Windrichtungen (Sektor 8, Sektor 9 und Sektor 10) mit insgesamt 39 % im Ganzjahr und ebenfalls 39 % im Sommerhalbjahr am häufigsten zu beobachten. Nordöstliche Windrichtungen (Sektor 2, Sektor 3 und Sektor 4) treten ebenfalls häufig auf, im Ganzjahr, 26 % im Sommerhalbjahr 25 %.

Die auf Basis der in Abbildung 3-6 zusammengefassten Daten zur Häufigkeit der Windgeschwindigkeitsklassen bestimmte mittlere Windgeschwindigkeit liegt für das Ganzjahr bei 2,6 m/s sowie für das Sommerhalbjahr bei 2,3 m/s.

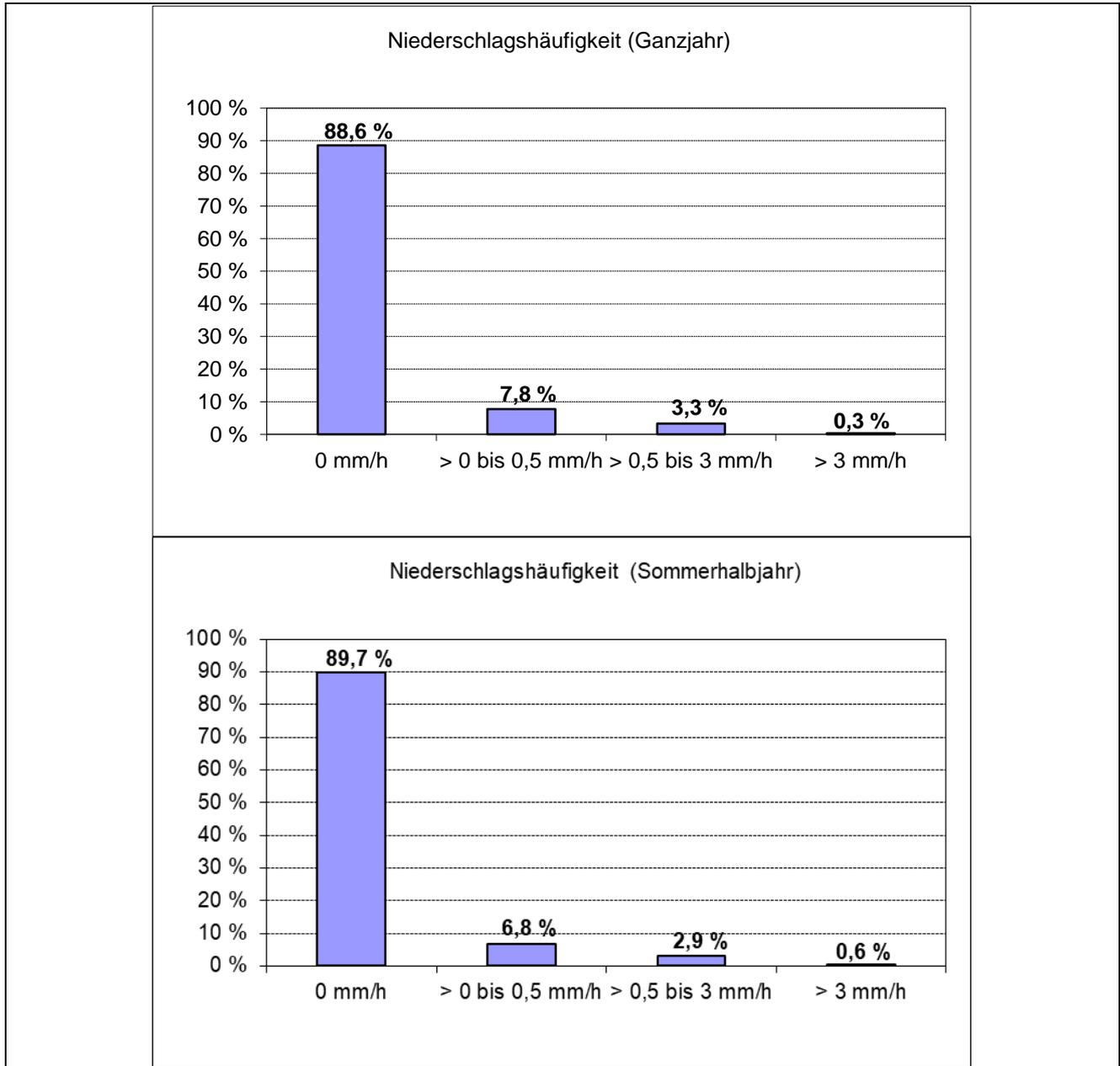


Abbildung 3-9: Häufigkeit des Auftretens einzelner Niederschlagsintensitätsklassen; oben: Ganzjahr, unten: Sommerhalbjahr

Entsprechend der Abbildung 3-7 ist die neutrale Ausbreitungsklasse D mit 37 % im Ganzjahr und am häufigsten zu beobachten. Im Sommerhalbjahr ist mit 32 % die Ausbreitungsklasse F am häufigsten anzutreffen. Die neutralen Ausbreitungsklassen C und D findet man im Ganzjahr mit einer Gesamthäufigkeit von 50 % und im Sommerhalbjahr von 44 %. Der entsprechende Beitrag der instabilen Klassen A und B liegt im Ganzjahr bei 7 % und im Sommerhalbjahr bei 12 %. Die beiden stabilen

Ausbreitungsklassen E und F tragen zusammen mit einer Gesamthäufigkeit von 43 % im Ganzjahr bzw. 44 % im Sommerhalbjahr bei.

Niederschläge von mehr als 100 mm treten gemäß Abbildung 3-8 bei Windrichtungen aus den Sektoren 8 und 9 auf (südwestliche Richtungen). Für die meisten Sektoren liegt die Niederschlagsmenge im Sommerhalbjahr deutlich über 50 % der Niederschlagsmenge im Gesamtjahr. Dies liegt daran, dass im Sommerhalbjahr das Auftreten von Situationen mit mehr als 3 mm/h Niederschlag häufiger beobachtet wird (siehe Abbildung 3-9).

Die ermittelten mittleren Niederschlagsintensitäten der einzelnen Niederschlagsklassen sind:

- Klasse von 0,1 bis 0,5 mm/h 0,21 mm/h (Jahr), 0,20 mm/h (Sommer),
- Klasse von 0,5 bis 3,0 mm/h 1,21 mm/h (Jahr), 1,31 mm/h (Sommer) sowie
- Klasse größer als 3 mm/h 5,86 mm/h (Jahr), 6,03 mm/h (Sommer).

3.9. Meteorologische Daten zur Kurzeitausbreitungsberechnung

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse werden die Ableitungen von H-3 und C-14 aus dem Kamin des FRG und aus der Zerlegehalle als Kurzeitausbreitungen betrachtet. Dabei wird unterstellt, dass die Ableitungen innerhalb eines Tages während des Sommerhalbjahrs erfolgen. Dazu werden analog zu [SSK 03] folgende meteorologische Bedingungen angenommen:

Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe:	1 m/s,
Windrichtung:	Windrichtung, die bei Überlagerung mit den Langzeit-ableitungen zur höchsten Dosis führt,
Ausbreitungsklasse:	diejenige, die zur höchsten Dosis führt und
Niederschlagsintensität:	5 mm/h bei Ausbreitungsklasse C, D oder E, 0 mm/h sonst.

Entsprechend [AVV 12], Abschnitt 4.4.2 wird für die Ableitungsdauer von 24 h ein Faktor 3/10 für die berechnete Jahresdosis angesetzt.

3.10. Bemerkungen zur Methodik

Die Ausbreitungs- und Dosisberechnungen erfolgen in Übereinstimmung mit den Vorgaben in [AVV 12]. Soweit die AVV verschiedene Möglichkeiten bietet bzw. Spielräume in der Anwendung der Vorschriften gegeben sind, wurde eine konservative Vorgehensweise gewählt. Im Einzelnen wird wie folgt verfahren:

- Die für die Dosisberechnung verwendeten Emissionswerte ergeben sich auf Grundlage der Genehmigungswerte.
- Die Emissionen aus dem Fortluftkamin des FRG und der Zerlegehalle werden als Langzeitemissionen betrachtet. Zusätzlich erfolgt eine Sensitivitätsanalyse, bei der die Ableitungen aller Nuklide aus dem Kamin des FRG und aus der Zerlegehalle als Kurzeitausbreitungen betrachtet werden.
- Zusätzlich wird die Vorbelastung (als Langzeitemission) mit folgenden Quelltermen betrachtet:

- die für Transportbereitstellungshalle (TBH) für die Bereitstellung von leicht- und mittelradioaktiven Abfällen möglichen Ableitungen mit der Fortluft,
- die für Stilllegung und Abbau des Kernkraftwerks Krümmel (KKK) beantragten Aktivitätsgrenzwerte der Ableitungen mit der Fortluft und
- die für das LasmAaZ am Standort KKK bei der Zwischenlagerung von leicht- und mittelradioaktiven Abfällen möglichen Ableitungen mit der Fortluft.
- Als meteorologische Daten werden langjährige (9 Jahre) 4-parametrische Ausbreitungsklassenstatistiken für das Ganzjahr bzw. das Sommerhalbjahr (Weidezeit 1. Mai bis 31. Oktober) vom Standort für den Zeitraum 2010 bis 2018 verwendet. Windrichtung und Windgeschwindigkeit sind in 18 m Höhe ermittelt worden.
- Bei den Ausbreitungsberechnungen wird die Fahnenabreicherung durch Fallout, Washout und radioaktiven Zerfall nicht berücksichtigt.
- Der Einfluss des Geländes am Standort wird unter Verwendung der Geländedaten aus dem DGM10 gemäß [AVV 12] berücksichtigt.
- Auf Grund der komplexen Situation (fünf verschiedene Quellpositionen im Abstand von teilweise mehr als 1000 m mit unterschiedlichen Emissionshöhen und unterschiedlichen Höhen im Gelände sowie Berücksichtigung von zwei Überwachungsbereichen) erfolgt die Berechnung und Bewertung der potentiellen Exposition in einem kartesischen Gitter. Die Berechnung der Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren erfolgt in polaren Koordinatensystemen für jede Quelle separat. Der Ursprung dieser Koordinatensysteme liegt jeweils am Quellort. Die Winkelleinteilung entspricht den Ausbreitungsrichtungen (Windrichtungen um 180° versetzt). Mit den so ermittelten Ausbreitungs- und Ablagerungsfaktoren wird die potentielle Exposition für alle betrachteten Pfade berechnet. Anschließend werden die berechneten Expositionen für jede einzelne Quelle auf das verwendete kartesische Gitter interpoliert und dort addiert.

4. ERGEBNISSE

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Berechnungen im Einzelnen dargestellt und erläutert. Einen wesentlichen Teil der Analyse stellt die Bestimmung der ungünstigsten Aufpunkte im Sinne der AVV zu § 47 StrlSchV²⁰⁰¹ [AVV 12] dar. Die Bestimmung dieses Ortes in der Umgebung des Anlagengeländes wird in Abschnitt 4.1 erläutert. Die Werte der effektiven Dosis und der Organdosen werden in Abhängigkeit von der Altersgruppe und vom Expositionspfad in Abschnitt 4.2 angegeben. Es werden jeweils die Werte für die ungünstigsten Aufpunkte, also maximale Dosiswerte, angegeben. Die Aussagen des Abschnitts 4.1 im Hinblick auf die Ermittlung des ungünstigsten Aufpunkts sind dabei zu berücksichtigen.

Alle in diesem Kapitel berechneten Werte der effektiven Dosis und der Organdosen sind als potentielle Dosen zu verstehen, d. h. sie überschätzen reale Expositionen erheblich.

4.1. Ungünstigste Aufpunkte außerhalb des Anlagengeländes

Hinsichtlich der ungünstigsten Einwirkungsstellen sind gemäß [AVV 12] „[...] *die Stellen zugrunde zu legen, an denen sich die höchste effektive Dosis oder die höchsten Organdosen ergeben. Dabei sind für die Summe der Dosen aus der externen Strahlenexposition durch die Abluftfahne (Betasubmersion und Gammasubmersion) und Inhalation sowie für die Dosis durch Bodenstrahlung jeweils die Stellen auszuwählen, an denen die Dosen am höchsten sind. Zusätzlich sind die Ingestionsdosen zu berücksichtigen, die sich [...] durch den Verzehr von Lebensmitteln ergeben. Dabei ist für die Erzeugung jeder Lebensmittelgruppe jeweils die Stelle auszuwählen, für die sich die höchsten Organdosen oder die höchste effektive Dosis durch den Verzehr dieser Lebensmittelgruppe ergeben.*“ Nach dieser Passage aus [AVV 12] ist hinsichtlich der Ingestionsdosen diejenige Stelle in der Umgebung der Anlage für einen Anbau von Lebensmitteln bzw. die Aufzucht von Vieh zu betrachten, die zu den am höchsten kontaminierten Nahrungsmitteln führt.

Damit sind grundsätzlich **zwei ungünstigste Aufpunkte** zu betrachten: (1) die ungünstigste Einwirkungsstelle hinsichtlich äußerer Bestrahlung und Inhalation und (2) die im Hinblick auf die Ingestionsdosis ungünstigste Stelle außerhalb des Anlagengeländes. Im Einzelfall können diese beiden Orte identisch sein.

Die Lage des jeweiligen ungünstigsten Aufpunkts hängt von den meteorologischen Bedingungen, der in der Berechnung berücksichtigten, möglicherweise korrigierten Emissionshöhe, den Quellstärken für die einzelnen Nuklide, dem Verlauf des Zauns und ggf. dem Gebäudeeinfluss (wenn dieser sektorweise unterschiedlich zu berücksichtigen ist) ab.

Expositionen durch β -Submersion, Inhalation und die Ingestion durch C-14 (als CO₂) werden durch die bodennahe Konzentration am Aufpunkt und damit durch den Langzeitausbreitungsfaktor am Aufpunkt bestimmt. Die Exposition durch γ -Submersion wird durch die gesamte Konzentrationsverteilung beeinflusst. Die Expositionen durch γ -Bodenstrahlung und durch Ingestion von Aerosolen werden durch die Ablagerungsrate (Summe aus Washout und Fallout) der Nuklide auf dem Boden am Aufpunkt bestimmt. Der entsprechende Langzeitfalloutfaktor ist dabei proportional zum bodennahen Langzeitausbreitungsfaktor, der Langzeitwashoutfaktor ergibt sich proportional zum vertikalen Integral des Langzeitausbreitungsfaktors.

Die Lage der diskutierten Aufpunkte (ungünstigste Aufpunkte zur Ermittlung der Exposition) kann Abbildung 3-3 (Abschnitt 3.1) entnommen werden.

In Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2 sind die sich aus den meteorologischen Bedingungen, der Emissionshöhe, der Geländestruktur und dem Verlauf des Zauns ergebenden Werte für den Langzeitausbreitungsfaktor, den Langzeitfalloutfaktor, den Langzeitwashoutfaktor und den Langzeit- γ -Ausbreitungsfaktor für Emissionen aus dem Fortluftkamin des FRG an den jeweils zu betrachtenden ungünstigsten Aufpunkten angegeben. Die Angaben für x- und y-Wert beziehen sich dabei auf den Ursprung des verwendeten kartesischen Koordinatensystems (Fortluftkamin FRG 1). Die Aufpunkte in Tabelle 4-1 und Tabelle 4-2 sind nummeriert. Die Lage dieser Aufpunkte kann Abbildung 3-3 entnommen werden.

Tabelle 4-1: Langzeitausbreitungs-, Fallout- und Washoutfaktoren (für Aerosole) für Emissionen aus dem Fortluftkamin des FRG

	Punkt Nr.	x [m]	y [m]	Ausbreitungsfaktor [s/m ³]	Falloutfaktor [1/m ²]	Washoutfaktor [1/m ²]	Ablagerungsfaktor ^{a)} [1/m ²]
Ganzjahr	1	-980	720	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-10}$	$5,6 \cdot 10^{-10}$
	2	-920	660	$2,6 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-10}$	$6,0 \cdot 10^{-10}$
	3	220	-60	$4,6 \cdot 10^{-7}$	$6,9 \cdot 10^{-10}$	$2,2 \cdot 10^{-9}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$
Sommerhalbjahr	1	-980	720	$2,3 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-10}$	$2,2 \cdot 10^{-10}$	$4,1 \cdot 10^{-10}$
	2	-920	660	$2,4 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-10}$	$2,4 \cdot 10^{-10}$	$4,3 \cdot 10^{-10}$
	3	220	-60	$7,2 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-9}$	$1,9 \cdot 10^{-9}$

^{a)} Angaben für das Ganzjahr gelten für Ablagerung auf dem Boden (Summe aus Falloutfaktor und Washoutfaktor), Angaben für das Sommerhalbjahr gelten für Ablagerung auf Pflanzen (Summe aus Falloutfaktor und Washoutfaktor multipliziert mit 0,3)

Tabelle 4-2: Gamma-Ausbreitungsfaktoren (für die Energiegruppen 0,1 MeV und 1 MeV) für Emissionen aus dem Fortluftkamin des FRG

Punkt Nr.	x [m]	y [m]	γ -Ausbreitungsfaktor 0,1 MeV [s/m ²]	γ -Ausbreitungsfaktor 1 MeV [s/m ²]
1	-980	720	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$3,8 \cdot 10^{-5}$
2	-920	660	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$4,1 \cdot 10^{-5}$
3	220	-60	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$

In Tabelle 4-3 und Tabelle 4-4 sind die sich aus den meteorologischen Bedingungen, der Emissionshöhe, der Geländestruktur und dem Verlauf des Zauns ergebenden Maxima für den Langzeitausbreitungsfaktor, den Langzeitfalloutfaktor, den Langzeitwashoutfaktor und den Langzeit- γ -Ausbreitungsfaktor für Emissionen aus der TBH angegeben. Die Angaben für Sektor und Entfernung beziehen sich dabei auf den Ursprung des verwendeten kartesischen Koordinatensystems (Fortluftkamin FRG). Die Aufpunkte in Tabelle 4-3 und Tabelle 4-4 sind nummeriert. Die Lage dieser Aufpunkte kann Abbildung 3-3 entnommen werden.

Tabelle 4-3: Langzeitausbreitungs-, Fallout- und Washoutfaktoren (für Aerosole) für Emissionen aus der TBH

	Punkt Nr.	x [m]	y [m]	Ausbreitungsfaktor [s/m ³]	Falloutfaktor [1/m ²]	Washoutfaktor [1/m ²]	Ablagerungsfaktor ^{a)} [1/m ²]
Ganzjahr	1	-980	720	1,5·10 ⁻⁶	1,8·10 ⁻⁹	3,4·10 ⁻¹⁰	2,6·10 ⁻⁹
	2	-920	660	1,7·10 ⁻⁶	2,0·10 ⁻⁹	3,6·10 ⁻¹⁰	2,9·10 ⁻⁹
	3	220	-60	4,1·10 ⁻⁵	5,0·10 ⁻⁸	6,4·10 ⁻⁹	6,8·10 ⁻⁸
Sommerhalbjahr	1	-980	720	1,7·10 ⁻⁶	2,5·10 ⁻⁹	3,9·10 ⁻¹⁰	2,6·10 ⁻⁹
	2	-920	660	1,9·10 ⁻⁶	2,8·10 ⁻⁹	4,1·10 ⁻¹⁰	2,9·10 ⁻⁹
	3	220	-60	4,6·10 ⁻⁵	6,9·10 ⁻⁸	6,4·10 ⁻⁹	7,1·10 ⁻⁸

a) Angaben für das Ganzjahr gelten für Ablagerung auf dem Boden (Summe aus Falloutfaktor und Washoutfaktor), Angaben für das Sommerhalbjahr gelten für Ablagerung auf Pflanzen (Summe aus Falloutfaktor und Washoutfaktor multipliziert mit 0,3)

Tabelle 4-4: Gamma-Ausbreitungsfaktoren (für die Energiegruppen 0,1 MeV und 1 MeV) für Emissionen aus der TBH

Punkt Nr.	x [m]	y [m]	γ-Ausbreitungsfaktor 0,1 MeV [s/m ²]	γ-Ausbreitungsfaktor 1 MeV [s/m ²]
1	-980	720	1,2·10 ⁻⁴	9,4·10 ⁻⁵
2	-920	660	1,3·10 ⁻⁴	1,0·10 ⁻⁴
3	220	-60	2,0·10 ⁻³	1,6·10 ⁻³

In Tabelle 4-5 und Tabelle 4-6 sind die sich aus den meteorologischen Bedingungen, der Emissionshöhe, der Geländestruktur und dem Verlauf des Zauns ergebenden Maxima für den Langzeitausbreitungsfaktor, den Langzeitfalloutfaktor, den Langzeitwashoutfaktor und den Langzeit-γ-Ausbreitungsfaktor für Emissionen der Fortluftableitung der Zerlegehalle angegeben. Die Angaben für x- und y-Wert beziehen sich dabei auf den Ursprung des verwendeten kartesischen Koordinatensystems (Fortluftkamin FRG 1). Die Aufpunkte in Tabelle 4-5 und Tabelle 4-6 sind nummeriert. Die Lage dieser Aufpunkte kann Abbildung 3-3 entnommen werden.

Tabelle 4-5: Langzeitausbreitungs-, Fallout- und Washoutfaktoren (für Aerosole) für Emissionen der Fortluftableitung der Zerlegehalle

	Punkt Nr.	x [m]	y [m]	Ausbreitungsfaktor [s/m ³]	Falloutfaktor [1/m ²]	Washoutfaktor [1/m ²]	Ablagerungsfaktor ^{a)} [1/m ²]
Ganzjahr	1	-980	720	2,3·10 ⁻⁶	3,5·10 ⁻⁹	4,6·10 ⁻¹⁰	4,0·10 ⁻⁹
	2	-920	660	2,7·10 ⁻⁶	4,1·10 ⁻⁹	5,0·10 ⁻¹⁰	4,6·10 ⁻⁹
	3	220	-60	1,5·10 ⁻⁵	2,2·10 ⁻⁸	1,9·10 ⁻⁹	2,4·10 ⁻⁸
Sommerhalbjahr	1	-980	720	2,6·10 ⁻⁶	3,8·10 ⁻⁹	5,3·10 ⁻¹⁰	4,0·10 ⁻⁹
	2	-920	660	2,9·10 ⁻⁶	4,4·10 ⁻⁹	5,7·10 ⁻¹⁰	4,6·10 ⁻⁹
	3	220	-60	1,7·10 ⁻⁵	2,5·10 ⁻⁸	2,2·10 ⁻⁹	2,6·10 ⁻⁸

a) Angaben für das Ganzjahr gelten für Ablagerung auf dem Boden (Summe aus Falloutfaktor und Washoutfaktor), Angaben für das Sommerhalbjahr gelten für Ablagerung auf Pflanzen (Summe aus Falloutfaktor und Washoutfaktor multipliziert mit 0,3)

Tabelle 4-6: Gamma-Ausbreitungsfaktoren (für die Energiegruppen 0,1 MeV und 1 MeV) für Emissionen der Fortluftableitung der Zerlegehalle

Punkt Nr.	x [m]	y [m]	γ-Ausbreitungsfaktor 0,1 MeV [s/m ²]	γ-Ausbreitungsfaktor 1 MeV [s/m ²]
1	-980	720	1,6·10 ⁻⁴	1,3·10 ⁻⁴
2	-920	660	1,8·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻⁴
3	220	-60	6,3·10 ⁻⁴	5,1·10 ⁻⁴

In Tabelle 4-7 und Tabelle 4-8 sind die sich aus den meteorologischen Bedingungen, der Emissionshöhe, der Geländestruktur und dem Verlauf des Zauns ergebenden Maxima für den Langzeitausbreitungsfaktor, den Langzeitfalloutfaktor, den Langzeitwashoutfaktor und den Langzeit-γ-Ausbreitungsfaktor für Emissionen aus dem Fortluftkamin des KKK angegeben. Die Angaben für Sektor und Entfernung beziehen sich dabei auf den Ursprung des verwendeten kartesischen Koordinatensystems (Fortluftkamin FRG). Die Aufpunkte in Tabelle 4-7 und Tabelle 4-8 sind nummeriert. Die Lage dieser Aufpunkte kann Abbildung 3-3 entnommen werden.

Tabelle 4-7: Langzeitausbreitungs-, Fallout- und Washoutfaktoren (für Aerosole) für Emissionen aus dem Fortluftkamin des KKK

	Punkt Nr.	x [m]	y [m]	Ausbreitungsfaktor [s/m ³]	Falloutfaktor [1/m ²]	Washoutfaktor [1/m ²]	Ablagerungsfaktor ^{a)} [1/m ²]
Ganzjahr	1	-980	720	2,4·10 ⁻⁸	3,7·10 ⁻¹¹	3,5·10 ⁻⁹	3,5·10 ⁻⁹
	2	-920	660	5,9·10 ⁻⁸	8,9·10 ⁻¹¹	2,1·10 ⁻⁹	2,2·10 ⁻⁹
	3	220	-60	4,8·10 ⁻⁸	7,1·10 ⁻¹¹	2,3·10 ⁻¹⁰	3,0·10 ⁻¹⁰
Sommerhalbjahr	1	-980	720	4,2·10 ⁻⁸	6,3·10 ⁻¹¹	4,1·10 ⁻⁹	1,3·10 ⁻⁹
	2	-920	660	1,1·10 ⁻⁷	1,6·10 ⁻¹⁰	2,4·10 ⁻⁹	8,7·10 ⁻¹⁰
	3	220	-60	6,3·10 ⁻⁸	9,5·10 ⁻¹¹	3,1·10 ⁻¹⁰	1,9·10 ⁻¹⁰

a) Angaben für das Ganzjahr gelten für Ablagerung auf dem Boden (Summe aus Falloutfaktor und Washoutfaktor), Angaben für das Sommerhalbjahr gelten für Ablagerung auf Pflanzen (Summe aus Falloutfaktor und Washoutfaktor multipliziert mit 0,3)

Tabelle 4-8: Gamma-Ausbreitungsfaktoren (für die Energiegruppen 0,1 MeV und 1 MeV) für Emissionen aus dem Fortluftkamin des KKK

Punkt Nr.	x [m]	y [m]	γ-Ausbreitungsfaktor 0,1 MeV [s/m ²]	γ-Ausbreitungsfaktor 1 MeV [s/m ²]
1	-980	720	1,2·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻⁴
2	-920	660	1,0·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻⁴
3	220	-60	1,3·10 ⁻⁵	1,3·10 ⁻⁵

In Tabelle 4-9 und Tabelle 4-10 sind die sich aus den meteorologischen Bedingungen, der Emissionshöhe, der Geländestruktur und dem Verlauf des Zauns ergebenden Maxima für den Langzeitausbreitungsfaktor, den Langzeitfalloutfaktor, den Langzeitwashoutfaktor und den Langzeit-γ-Ausbreitungsfaktor für Emissionen aus dem LasmAaZ angegeben. Die Angaben für Sektor und Entfernung beziehen sich dabei auf den Ursprung des verwendeten kartesischen Koordinatensystems (Fortluftkamin FRG). Die Aufpunkte in Tabelle 4-9 und Tabelle 4-10 sind nummeriert. Die Lage dieser Aufpunkte kann Abbildung 3-3 entnommen werden.

Tabelle 4-9: Langzeitausbreitungs-, Fallout- und Washoutfaktoren (für Aerosole) für Emissionen aus dem LasmAaZ

	Punkt Nr.	x [m]	y [m]	Ausbreitungsfaktor [s/m ³]	Falloutfaktor [1/m ²]	Washoutfaktor [1/m ²]	Ablagerungsfaktor ^{a)} [1/m ²]
Ganzjahr	1	-980	720	8,0·10 ⁻⁵	1,2·10 ⁻⁷	6,0·10 ⁻⁹	1,3·10 ⁻⁷
	2	-920	660	1,5·10 ⁻⁴	2,3·10 ⁻⁷	1,2·10 ⁻⁸	2,4·10 ⁻⁷
	3	220	-60	1,9·10 ⁻⁶	2,9·10 ⁻⁹	6,0·10 ⁻¹⁰	3,5·10 ⁻⁹
Sommerhalbjahr	1	-980	720	8,8·10 ⁻⁵	1,3·10 ⁻⁷	7,1·10 ⁻⁹	1,3·10 ⁻⁷
	2	-920	660	1,7·10 ⁻⁴	2,5·10 ⁻⁷	1,4·10 ⁻⁸	2,6·10 ⁻⁷
	3	220	-60	2,3·10 ⁻⁶	3,4·10 ⁻⁹	8,2·10 ⁻¹⁰	3,6·10 ⁻⁹

a) Angaben für das Ganzjahr gelten für Ablagerung auf dem Boden (Summe aus Falloutfaktor und Washoutfaktor), Angaben für das Sommerhalbjahr gelten für Ablagerung auf Pflanzen (Summe aus Falloutfaktor und Washoutfaktor multipliziert mit 0,3)

Tabelle 4-10: Gamma-Ausbreitungsfaktoren (für die Energiegruppen 0,1 MeV und 1 MeV) für Emissionen aus dem LasmAaZ

Punkt Nr.	x [m]	y [m]	γ-Ausbreitungsfaktor 0,1 MeV [s/m ²]	γ-Ausbreitungsfaktor 1 MeV [s/m ²]
1	-980	720	2,3·10 ⁻³	1,8·10 ⁻³
2	-920	660	3,5·10 ⁻³	2,6·10 ⁻³
3	220	-60	1,2·10 ⁻⁴	9,9·10 ⁻⁵

Die γ-Bodenstrahlung liefert den größten Beitrag zur Summe der Expositionen aus äußerer Strahlung und Inhalation. Das Maximum hierfür ergibt sich demnach am Punkt Nr. 1 (Ablagerungsfaktor Ganzjahr). Maßgeblich für die Summe der Expositionen aus äußerer Strahlung und Inhalation am dafür ungünstigsten Aufpunkt (Nr. 1) sind die Ableitungen aus dem Fortluftkamin des KKK und des LasmAaZ.

Für die Bestimmung der Maximaldosis durch Ingestion müssen drei potentielle Kontaminationspfade unterschieden werden: Die Aufnahme durch Pflanzenwurzeln, die Ablagerung auf der Pflanzenoberfläche sowie die Aufnahme von CO₂ (C-14) und H-3 (HTO in der Luftfeuchte) aus der Luft. Für die Aufnahme von Nukliden durch die Pflanzenwurzeln ist der Eintrag in den Boden und damit die Summe aus Washout und Fallout (Ablagerungsfaktor für Ganzjahr) entscheidend. Für die Ablagerung auf der Pflanzenoberfläche sind der Fallout sowie der Washout mit einem Faktor 0,3 jeweils für das Sommerhalbjahr bestimmend (Ablagerungsfaktor für Sommerhalbjahr). Für die Aufnahme von CO₂ und Wasser aus der Luft ist der Ausbreitungsfaktor für das Sommerhalbjahr von Bedeutung. Der ungünstigste Aufpunkt für die Ingestionsdosis (Effektivdosis und fast alle Organe) ergibt sich am Punkt Nr. 2. Den größten Anteil liefern die potentiellen Ableitungen aus dem Fortluftkamin des KKK und des LasmAaZ. Für die Knochenoberfläche (alle Altersgruppen) und das Rote Knochenmark (hier nur Altersgruppe Säuglinge (< 1 a)) ergibt sich der ungünstigste Aufpunkt für die Ingestionsdosis am Aufpunkt Nr. 3. Den größten Anteil liefern die potentiellen Ableitungen aus dem Fortluftkamin des KKK und des LasmAaZ.

4.2. Dosisberechnungen

Die Berechnung der potentiellen Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerleghalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen erfolgt unter Verwendung der Quellterme aus Tabelle 3-4, Tabelle 3-6, Tabelle 3-8 und Tabelle 3-10 (Abschnitt 3.2 und Abschnitt 3.4).

Zur genaueren Analyse dieser Ergebnisse sind für jeden Expositionspfad (explizit werden nur die Expositionspfade angegeben, die einen signifikanten Beitrag liefern) separat die maximale Dosis für die jeweils höchst exponierte Altersgruppe in Tabelle 4-11 ausgewiesen. Die Betrachtung beschränkt sich dabei auf die effektive Dosis. Die x- und y-Koordinaten (bezogen auf den Fortluftkamin des FRG) sind bezüglich des Fortluftkamins des FRG 1 angegeben. Die Lage des jeweiligen Aufpunkts ist aus Abbildung 3-3 unter Verwendung der angegebenen Punktnummer ersichtlich.

Tabelle 4-11: Maximale effektive Dosen, separat für jeden Expositionspfad durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerleghalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastung

Pfad	Dosis [$\mu\text{Sv/a}$]	Altersgruppe	x [m]	y [m]	Punkt Nr.
β -Submersion	kein signifikanter Beitrag ($< 0,008 \mu\text{Sv/a}$)				
γ -Submersion					
γ -Bodenstrahlung	23	< 1 Jahr	-980	720	1
Inhalation	1,7	> 17 Jahr	-920	660	2
Summe Aufenthalt	24	< 1 Jahr	-980	720	1
Ingestion	37	1 bis 2 Jahre	-920	660	2
Summe ^a	53	< 1 Jahr	-920	660	2
ungünstigste Aufpunkte ^b	60	< 1 Jahr	-980 / -920	720 / 660	1/2

^a Hierbei handelt es sich um die Summe aller Expositionen, die für einen einzelnen Aufpunkt maximal wird. Dieses Berechnungsergebnis wird gemäß [AVV 12] nicht bewertet.

^b Hierbei handelt es sich um das gemäß [AVV 12] zu bewertende Berechnungsergebnis.

Die Ergebnisse zeigen bezüglich der effektiven Dosis, dass im vorliegenden Fall die höchsten Dosisbeiträge durch den Expositionspfad Ingestion bedingt sind. Die Expositionspfade γ -Bodenstrahlung und in geringerem Maß auch Inhalation liefern ebenfalls einen deutlichen Beitrag zur Gesamtdosis. Die Expositionspfade β -Submersion und γ -Submersion liefern dagegen eine vernachlässigbar geringe Dosis.

Die folgenden Tabellen (Tabelle 4-12 bis Tabelle 4-17) zeigen die potentiellen Strahlenexpositionen durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für alle Expositionspfade und die sechs Altersgruppen. Die Werte wurden dabei am un-

günstigsten Aufpunkt für die Ingestionsdosis (Aufpunkt Nr. 2 aus Abbildung 3-3) bzw. am ungünstigsten Aufpunkt für die Dosis aus externer Bestrahlung und Inhalation (Aufpunkt Nr. 1 aus Abbildung 3-3) ermittelt.

In Tabelle 4-12 bis Tabelle 4-17 wird die Exposition durch die Pfade

- β -Submersion,
- γ -Submersion,
- γ -Bodenstrahlung,
- Inhalation,
- Summe aus externer Bestrahlung plus Inhalation,
- Ingestion und
- die Summe aller Pfade

dargestellt.

Die letzten beiden Spalten zeigen die organspezifischen Grenzwerte nach § 47 StrlSchV²⁰⁰¹ bzw. die Grenzwertausschöpfung durch die organspezifische potentielle Gesamtdosis.

Tabelle 4-12: Potentielle Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für Säuglinge (< 1 a) an den ungünstigsten Aufpunkten (Punkt Nr. 1 für externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion (außer Knochenoberfläche und Rotes Knochenmark, dort Punkt Nr. 3)) in [$\mu\text{Sv/a}$]

Organe	β -Submersion	γ -Submersion	γ -Bodenstr.	Inhalation	Ext. Str. und Inhalation	Ingestion	Summe ^{*)}	Grenzwert	Anteil am Grenzwert
ET Luftwege	0	$8,68 \cdot 10^{-3}$	26,9	0,244	27,1	29,8	56,9	900	6,3 %
Lunge	0	$7,50 \cdot 10^{-3}$	25,0	1,14	26,1	29,1	55,3	900	6,1 %
Blase	0	$6,34 \cdot 10^{-3}$	23,1	$3,15 \cdot 10^{-2}$	23,1	29,9	53,0	900	5,9 %
Brust	0	$8,60 \cdot 10^{-3}$	25,9	$3,53 \cdot 10^{-2}$	25,9	27,7	53,7	900	6,0 %
Gehirn	0	$8,67 \cdot 10^{-3}$	24,7	$3,13 \cdot 10^{-2}$	24,7	28,8	53,6	900	6,0 %
Haut	$1,17 \cdot 10^{-2}$	$1,21 \cdot 10^{-2}$	27,1	$3,09 \cdot 10^{-2}$	27,2	27,6	54,8	1800	3,0 %
Hoden	0	$7,30 \cdot 10^{-3}$	23,7	0,125	23,8	29,8	53,7	300	17,9 %
<i>Knochenoberfläche^{**)}</i>	0	$9,24 \cdot 10^{-3}$	25,0	4,03	29,0	107	136	1800	7,6 %
Leber	0	$6,74 \cdot 10^{-3}$	23,1	0,452	23,6	37,5	61,1	900	6,8 %
Speiseröhre	0	$6,05 \cdot 10^{-3}$	21,6	$3,50 \cdot 10^{-2}$	21,6	29,1	50,7	900	5,6 %
Magen	0	$6,66 \cdot 10^{-3}$	23,1	$3,28 \cdot 10^{-2}$	23,2	41,8	65,0	900	7,2 %
Dünndarm	0	$6,05 \cdot 10^{-3}$	21,9	$3,19 \cdot 10^{-2}$	21,9	30,9	52,8	900	5,9 %
Oberer Dickdarm	0	$6,20 \cdot 10^{-3}$	22,5	$5,68 \cdot 10^{-2}$	22,6	36,4	59,0	900	6,6 %
Unterer Dickdarm	0	$5,89 \cdot 10^{-3}$	22,2	0,170	22,3	48,6	70,9	900	7,9 %
Dickdarm	0	$6,05 \cdot 10^{-3}$	22,5	$8,41 \cdot 10^{-2}$	22,6	42,1	64,7	900	7,2 %
Milz	0	$6,81 \cdot 10^{-3}$	23,1	$3,40 \cdot 10^{-2}$	23,2	29,8	52,9	900	5,9 %
Muskel	0	$6,67 \cdot 10^{-3}$	23,1	$3,20 \cdot 10^{-2}$	23,2	29,1	52,2	900	5,8 %
Nebennieren	0	$6,28 \cdot 10^{-3}$	21,9	$3,58 \cdot 10^{-2}$	21,9	30,3	52,2	900	5,8 %
Nieren	0	$6,81 \cdot 10^{-3}$	23,1	$9,39 \cdot 10^{-2}$	23,2	30,6	53,8	900	6,0 %
Ovarien	0	$5,60 \cdot 10^{-3}$	22,5	0,116	22,6	31,6	54,2	300	18,1 %
Pankreas	0	$6,05 \cdot 10^{-3}$	21,6	$3,43 \cdot 10^{-2}$	21,6	30,6	52,2	900	5,8 %
<i>Rotes Knochenmark^{**)}</i>	0	$6,74 \cdot 10^{-3}$	22,8	0,661	23,5	71,1	94,6	300	31,5 %
Schilddrüse	0	$8,68 \cdot 10^{-3}$	26,9	$3,24 \cdot 10^{-2}$	26,9	29,8	56,7	900	6,3 %
Thymus	0	$7,48 \cdot 10^{-3}$	24,1	$3,50 \cdot 10^{-2}$	24,1	29,1	53,2	900	5,9 %
Uterus	0	$5,59 \cdot 10^{-3}$	20,9	$3,18 \cdot 10^{-2}$	21,0	30,2	51,2	300	17,1 %
Effektiv	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$7,10 \cdot 10^{-3}$	23,4	0,283	23,7	35,9	59,6	300	19,9 %

^{*)} Angaben zu Dosiswerten, auch Summenangaben, sind den Ergebnisdateien des Rechenprogramms entnommen und erfolgen immer auf 3 Stellen genau, Rundungsbedingt kann es zu Abweichungen bei der Summierung kommen.

^{**)} Aufpunkt für die Ingestionsdosis abweichend.

^{***)} Im Text diskutierte Werte sind fett hervorgehoben.

Tabelle 4-13: Potentielle Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für Kleinkinder (1 bis 2 a) an den ungünstigsten Aufpunkten (Punkt Nr. 1 für externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion (außer Knochenoberfläche, dort Punkt Nr. 3)) in [$\mu\text{Sv/a}$]

Organe	β -Submersion	γ -Submersion	γ -Bodenstr.,	Inhalation	Ext, Str, und Inhalation	Ingestion	Summe*)	Grenzwert	Anteil am Grenzwert
ET Luftwege	0	$8,56 \cdot 10^{-3}$	25,3	0,364	25,6	32,6	58,3	900	6,5 %
Lunge	0	$7,40 \cdot 10^{-3}$	23,5	1,77	25,3	32,1	57,4	900	6,4 %
Blase	0	$6,25 \cdot 10^{-3}$	21,7	$5,13 \cdot 10^{-2}$	21,8	33,0	54,8	900	6,1 %
Brust	0	$8,48 \cdot 10^{-3}$	24,3	$5,89 \cdot 10^{-2}$	24,4	31,3	55,7	900	6,2 %
Gehirn	0	$8,55 \cdot 10^{-3}$	23,2	$5,10 \cdot 10^{-2}$	23,3	31,9	55,2	900	6,1 %
Haut	$1,17 \cdot 10^{-2}$	$1,19 \cdot 10^{-2}$	25,5	$5,10 \cdot 10^{-2}$	25,6	31,3	56,9	1800	3,2 %
Hoden	0	$7,20 \cdot 10^{-3}$	22,3	0,230	22,5	32,2	54,7	300	18,2 %
<i>Knochenoberfläche**)</i>	0	$9,11 \cdot 10^{-3}$	23,5	7,08	30,5	57,9	88,4	1800	4,9 %
Leber	0	$6,64 \cdot 10^{-3}$	21,7	0,774	22,5	35,5	58,0	900	6,4 %
Speiseröhre	0	$5,97 \cdot 10^{-3}$	20,3	$5,84 \cdot 10^{-2}$	20,3	32,1	52,4	900	5,8 %
Magen	0	$6,57 \cdot 10^{-3}$	21,7	$5,43 \cdot 10^{-2}$	21,8	40,6	62,4	900	6,9 %
Dünndarm	0	$5,96 \cdot 10^{-3}$	20,6	$5,21 \cdot 10^{-2}$	20,6	35,4	56,0	900	6,2 %
Oberer Dickdarm	0	$6,11 \cdot 10^{-3}$	21,2	$7,58 \cdot 10^{-2}$	21,2	39,4	60,7	900	6,7 %
Unterer Dickdarm	0	$5,81 \cdot 10^{-3}$	20,8	0,149	21,0	49,6	70,6	900	7,8 %
Dickdarm	0	$5,97 \cdot 10^{-3}$	21,2	0,108	21,3	44,6	65,9	900	7,3 %
Milz	0	$6,72 \cdot 10^{-3}$	21,7	$5,63 \cdot 10^{-2}$	21,8	32,7	54,5	900	6,1 %
Muskel	0	$6,57 \cdot 10^{-3}$	21,7	$5,30 \cdot 10^{-2}$	21,8	32,1	53,9	900	6,0 %
Nebennieren	0	$6,19 \cdot 10^{-3}$	20,6	$5,94 \cdot 10^{-2}$	20,6	33,0	53,7	900	6,0 %
Nieren	0	$6,71 \cdot 10^{-3}$	21,7	0,143	21,9	32,9	54,8	900	6,1 %
Ovarien	0	$5,52 \cdot 10^{-3}$	21,2	0,215	21,4	33,8	55,2	300	18,4 %
Pankreas	0	$5,97 \cdot 10^{-3}$	20,3	$5,67 \cdot 10^{-2}$	20,3	33,2	53,6	900	6,0 %
Rotes Knochenmark	0	$6,64 \cdot 10^{-3}$	21,4	1,01	22,5	39,2	61,6	300	20,5 %
Schilddrüse	0	$8,56 \cdot 10^{-3}$	25,3	$5,37 \cdot 10^{-2}$	25,3	32,6	58,0	900	6,4 %
Thymus	0	$7,37 \cdot 10^{-3}$	22,6	$5,84 \cdot 10^{-2}$	22,7	32,1	54,8	900	6,1 %
Uterus	0	$5,51 \cdot 10^{-3}$	19,7	$5,18 \cdot 10^{-2}$	19,7	33,2	53,0	300	17,7 %
Effektiv	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$7,00 \cdot 10^{-3}$	22,0	0,456	22,5	36,7	59,2	300	19,7 %

*) Angaben zu Dosiswerten, auch Summenangaben, sind den Ergebnisdateien des Rechenprogramms entnommen und erfolgen immer auf 3 Stellen genau, Rundungsbedingt kann es zu Abweichungen bei der Summierung kommen.

**) Aufpunkt für die Ingestionsdosis abweichend.

Tabelle 4-14: Potentielle Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für Kindergartenkinder (2 bis 7 a) an den ungünstigsten Aufpunkten (Punkt Nr. 1 für externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion (außer Knochenoberfläche, dort Punkt Nr. 3)) in [$\mu\text{Sv/a}$]

Organe	β -Submersion	γ -Submersion	γ -Bodenstr.	Inhalation	Ext, Str, und Inhalation	Ingestion	Summe*)	Grenzwert	Anteil am Grenzwert
ET Luftwege	0	$7,85 \cdot 10^{-3}$	22,0	0,307	22,4	31,6	53,9	900	6,0 %
Lunge	0	$6,79 \cdot 10^{-3}$	20,5	1,85	22,4	31,0	53,4	900	5,9 %
Blase	0	$5,73 \cdot 10^{-3}$	19,0	$5,79 \cdot 10^{-2}$	19,0	32,9	51,9	900	5,8 %
Brust	0	$7,78 \cdot 10^{-3}$	21,2	$6,78 \cdot 10^{-2}$	21,3	30,0	51,3	900	5,7 %
Gehirn	0	$7,84 \cdot 10^{-3}$	20,2	$5,74 \cdot 10^{-2}$	20,3	30,8	51,1	900	5,7 %
Haut	$1,17 \cdot 10^{-2}$	$1,09 \cdot 10^{-2}$	22,3	$5,77 \cdot 10^{-2}$	22,3	29,8	52,2	1800	2,9 %
Hoden	0	$6,60 \cdot 10^{-3}$	19,4	0,288	19,7	31,2	51,0	300	17,0 %
<i>Knochenoberfläche **)</i>	0	$6,93 \cdot 10^{-3}$	14,7	18,2	32,8	69,9	103	1800	5,7 %
Leber	0	$6,09 \cdot 10^{-3}$	19,0	1,11	20,1	35,1	55,2	900	6,1 %
Speiseröhre	0	$5,48 \cdot 10^{-3}$	17,7	$6,71 \cdot 10^{-2}$	17,8	31,1	48,9	900	5,4 %
Magen	0	$6,02 \cdot 10^{-3}$	19,0	$6,13 \cdot 10^{-2}$	19,0	38,4	57,4	900	6,4 %
Dünndarm	0	$5,47 \cdot 10^{-3}$	17,9	$5,83 \cdot 10^{-2}$	18,0	33,1	51,1	900	5,7 %
Oberer Dickdarm	0	$5,61 \cdot 10^{-3}$	18,5	$7,08 \cdot 10^{-2}$	18,5	36,8	55,4	900	6,2 %
Unterer Dickdarm	0	$5,33 \cdot 10^{-3}$	18,2	0,125	18,3	46,6	64,9	900	7,2 %
Dickdarm	0	$5,47 \cdot 10^{-3}$	18,5	$9,53 \cdot 10^{-2}$	18,6	39,9	58,5	900	6,5 %
Milz	0	$6,16 \cdot 10^{-3}$	19,0	$6,34 \cdot 10^{-2}$	19,0	31,7	50,7	900	5,6 %
Muskel	0	$6,03 \cdot 10^{-3}$	19,0	$5,99 \cdot 10^{-2}$	19,0	31,0	50,0	900	5,6 %
Nebennieren	0	$5,68 \cdot 10^{-3}$	17,9	$6,73 \cdot 10^{-2}$	18,0	32,1	50,1	900	5,6 %
Nieren	0	$6,16 \cdot 10^{-3}$	19,0	0,144	19,1	31,9	51,0	900	5,7 %
Ovarien	0	$5,07 \cdot 10^{-3}$	18,5	0,319	18,8	33,1	51,9	300	17,3 %
Pankreas	0	$5,48 \cdot 10^{-3}$	17,7	$6,39 \cdot 10^{-2}$	17,8	32,4	50,1	900	5,6 %
Rotes Knochenmark	0	$6,09 \cdot 10^{-3}$	18,7	0,843	19,6	37,7	57,3	300	19,1 %
Schilddrüse	0	$7,85 \cdot 10^{-3}$	22,0	$6,05 \cdot 10^{-2}$	22,1	31,6	53,7	900	6,0 %
Thymus	0	$6,76 \cdot 10^{-3}$	19,7	$6,71 \cdot 10^{-2}$	19,8	31,1	50,9	900	5,7 %
Uterus	0	$5,06 \cdot 10^{-3}$	17,2	$5,81 \cdot 10^{-2}$	17,2	32,4	49,7	300	16,6 %
Effektiv	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$6,42 \cdot 10^{-3}$	19,2	0,498	19,7	34,7	54,4	300	18,1 %

*) Angaben zu Dosiswerten, auch Summenangaben, sind den Ergebnisdateien des Rechenprogramms entnommen und erfolgen immer auf 3 Stellen genau. Rundungsbedingt kann es zu Abweichungen bei der Summierung kommen.

**) Aufpunkt für die Ingestionsdosis abweichend.

Tabelle 4-15: Potentielle Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für Schulkinder (7 bis 12 a) an den ungünstigsten Aufpunkten (Punkt Nr. 1 für externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion (außer Knochenoberfläche, dort Punkt Nr. 3)) in [$\mu\text{Sv/a}$]

Organe	β -Submersion	γ -Submersion	γ -Bodenstr,	Inhalation	Ext, Str, und Inhalation	Ingestion	Summe*)	Grenzwert	Anteil am Grenzwert
ET Luftwege	0	$7,14 \cdot 10^{-3}$	20,4	0,382	20,8	30,3	51,1	900	5,7 %
Lunge	0	$6,18 \cdot 10^{-3}$	19,0	2,06	21,1	30,0	51,1	900	5,7 %
Blase	0	$5,22 \cdot 10^{-3}$	17,6	$7,63 \cdot 10^{-2}$	17,6	31,2	48,9	900	5,4 %
Brust	0	$7,08 \cdot 10^{-3}$	19,7	$8,81 \cdot 10^{-2}$	19,8	28,8	48,6	900	5,4 %
Gehirn	0	$7,14 \cdot 10^{-3}$	18,8	$7,59 \cdot 10^{-2}$	18,8	29,4	48,3	900	5,4 %
Haut	$1,17 \cdot 10^{-2}$	$9,92 \cdot 10^{-3}$	20,6	$7,62 \cdot 10^{-2}$	20,7	28,6	49,3	1800	2,7 %
Hoden	0	$6,01 \cdot 10^{-3}$	18,0	0,462	18,5	29,9	48,4	300	16,1 %
<i>Knochenoberfläche**)</i>	0	$6,31 \cdot 10^{-3}$	13,6	32,7	46,3	118	164	1800	9,1 %
Leber	0	$5,54 \cdot 10^{-3}$	17,6	1,45	19,0	33,6	52,6	900	5,8 %
Speiseröhre	0	$4,98 \cdot 10^{-3}$	16,4	$8,81 \cdot 10^{-2}$	16,5	30,1	46,6	900	5,2 %
Magen	0	$5,48 \cdot 10^{-3}$	17,6	$8,04 \cdot 10^{-2}$	17,6	33,7	51,4	900	5,7 %
Dünndarm	0	$4,98 \cdot 10^{-3}$	16,6	$7,71 \cdot 10^{-2}$	16,7	31,7	48,4	900	5,4 %
Oberer Dickdarm	0	$5,10 \cdot 10^{-3}$	17,1	$8,97 \cdot 10^{-2}$	17,2	34,2	51,4	900	5,7 %
Unterer Dickdarm	0	$4,85 \cdot 10^{-3}$	16,8	0,146	17,0	40,4	57,4	900	6,4 %
Dickdarm	0	$4,98 \cdot 10^{-3}$	17,1	0,115	17,2	36,4	53,7	900	6,0 %
Milz	0	$5,61 \cdot 10^{-3}$	17,6	$8,29 \cdot 10^{-2}$	17,7	30,5	48,1	900	5,3 %
Muskel	0	$5,49 \cdot 10^{-3}$	17,6	$7,86 \cdot 10^{-2}$	17,6	29,8	47,5	900	5,3 %
Nebennieren	0	$5,17 \cdot 10^{-3}$	16,6	$9,14 \cdot 10^{-2}$	16,7	31,0	47,8	900	5,3 %
Nieren	0	$5,60 \cdot 10^{-3}$	17,6	0,181	17,7	30,7	48,5	900	5,4 %
Ovarien	0	$4,61 \cdot 10^{-3}$	17,1	0,507	17,6	31,7	49,4	300	16,5 %
Pankreas	0	$4,98 \cdot 10^{-3}$	16,4	$8,34 \cdot 10^{-2}$	16,5	31,2	47,7	900	5,3 %
Rotes Knochenmark	0	$5,54 \cdot 10^{-3}$	17,3	1,02	18,4	48,3	66,7	300	22,2 %
Schilddrüse	0	$7,14 \cdot 10^{-3}$	20,4	$7,90 \cdot 10^{-2}$	20,5	30,3	50,8	900	5,6 %
Thymus	0	$6,16 \cdot 10^{-3}$	18,3	$8,81 \cdot 10^{-2}$	18,4	30,1	48,5	900	5,4 %
Uterus	0	$4,60 \cdot 10^{-3}$	15,9	$7,70 \cdot 10^{-2}$	16,0	31,0	47,0	300	15,7 %
Effektiv	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$5,84 \cdot 10^{-3}$	17,8	0,679	18,5	33,4	51,8	300	17,3 %

*) Angaben zu Dosiswerten, auch Summenangaben, sind den Ergebnisdateien des Rechenprogramms entnommen und erfolgen immer auf 3 Stellen genau, Rundungsbedingt kann es zu Abweichungen bei der Summierung kommen.

**) Aufpunkt für die Ingestionsdosis abweichend.

Tabelle 4-16: Potentielle Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für Jugendliche (12 bis 17 a) an den ungünstigsten Aufpunkten (Punkt Nr. 1 für externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion (außer Knochenoberfläche), dort Punkt Nr. 3) in [$\mu\text{Sv/a}$]

Organe	β -Submersion	γ -Submersion	γ -Bodenstr,	Inhalation	Ext, Str, und Inhalation	Ingestion	Summe *)	Grenzwert	Anteil am Grenzwert
ET Luftwege	0	$6,44 \cdot 10^{-3}$	17,8	0,305	18,1	27,3	45,3	900	5,0 %
Lunge	0	$5,56 \cdot 10^{-3}$	16,5	2,15	18,7	27,3	46,0	900	5,1 %
Blase	0	$4,70 \cdot 10^{-3}$	15,3	$7,77 \cdot 10^{-2}$	15,3	28,1	43,4	900	4,8 %
Brust	0	$6,38 \cdot 10^{-3}$	17,1	$8,81 \cdot 10^{-2}$	17,2	25,6	42,8	900	4,8 %
Gehirn	0	$6,43 \cdot 10^{-3}$	16,3	$7,70 \cdot 10^{-2}$	16,4	26,3	42,7	900	4,7 %
Haut	$1,17 \cdot 10^{-2}$	$8,94 \cdot 10^{-3}$	17,9	$7,77 \cdot 10^{-2}$	18,0	24,8	42,8	1800	2,4 %
Hoden	0	$5,42 \cdot 10^{-3}$	15,6	0,589	16,2	26,8	43,0	300	14,3 %
<i>Knochenoberfläche **)</i>	0	$5,69 \cdot 10^{-3}$	11,8	44,1	56,0	212	268	1800	14,8 %
Leber	0	$5,00 \cdot 10^{-3}$	15,3	1,54	16,8	30,0	46,8	900	5,2 %
Speiseröhre	0	$4,49 \cdot 10^{-3}$	14,2	$9,09 \cdot 10^{-2}$	14,3	27,3	41,6	900	4,6 %
Magen	0	$4,94 \cdot 10^{-3}$	15,3	$8,25 \cdot 10^{-2}$	15,3	30,0	45,3	900	5,0 %
Dünndarm	0	$4,48 \cdot 10^{-3}$	14,4	$7,82 \cdot 10^{-2}$	14,5	29,0	43,5	900	4,8 %
Oberer Dickdarm	0	$4,60 \cdot 10^{-3}$	14,9	$7,83 \cdot 10^{-2}$	15,0	29,6	44,5	900	4,9 %
Unterer Dickdarm	0	$4,37 \cdot 10^{-3}$	14,6	0,117	14,8	33,3	48,0	900	5,3 %
Dickdarm	0	$4,49 \cdot 10^{-3}$	14,9	$9,27 \cdot 10^{-2}$	15,0	31,2	46,2	900	5,1 %
Milz	0	$5,05 \cdot 10^{-3}$	15,3	$8,47 \cdot 10^{-2}$	15,3	27,4	42,7	900	4,7 %
Muskel	0	$4,94 \cdot 10^{-3}$	15,3	$8,03 \cdot 10^{-2}$	15,3	26,5	41,9	900	4,7 %
Nebennieren	0	$4,66 \cdot 10^{-3}$	14,4	$8,77 \cdot 10^{-2}$	14,5	28,4	42,9	900	4,8 %
Nieren	0	$5,05 \cdot 10^{-3}$	15,3	0,178	15,4	27,6	43,0	900	4,8 %
Ovarien	0	$4,16 \cdot 10^{-3}$	14,9	0,602	15,5	28,9	44,4	300	14,8 %
Pankreas	0	$4,49 \cdot 10^{-3}$	14,2	$8,48 \cdot 10^{-2}$	14,3	28,5	42,8	900	4,8 %
Rotes Knochenmark	0	$5,00 \cdot 10^{-3}$	15,1	1,04	16,1	62,9	79,1	300	26,3 %
Schilddrüse	0	$6,44 \cdot 10^{-3}$	17,8	$7,99 \cdot 10^{-2}$	17,8	27,3	45,1	900	5,0 %
Thymus	0	$5,55 \cdot 10^{-3}$	15,9	$9,09 \cdot 10^{-2}$	16,0	27,3	43,3	900	4,8 %
Uterus	0	$4,15 \cdot 10^{-3}$	13,8	$7,82 \cdot 10^{-2}$	13,9	28,4	42,3	300	14,1 %
Effektiv	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$5,26 \cdot 10^{-3}$	15,5	0,759	16,2	30,3	46,5	300	15,5 %

*) Angaben zu Dosiswerten, auch Summenangaben, sind den Ergebnisdateien des Rechenprogramms entnommen und erfolgen immer auf 3 Stellen genau, Rundungsbedingt kann es zu Abweichungen bei der Summierung kommen.

**) Aufpunkt für die Ingestionsdosis abweichend.

***) Im Text diskutierte Werte sind fett hervorgehoben.

Tabelle 4-17: Potentielle Strahlenexposition durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen für Erwachsene (> 17 a) an den ungünstigsten Aufpunkten (Punkt Nr. 1 für externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion (außer Knochenoberfläche, dort Punkt Nr. 3)) in [$\mu\text{Sv/a}$]

Organe	β -Submersion	γ -Submersion	γ -Bodenstr.	Inhalation	Ext, Str, und Inhalation	Ingestion	Summe *)	Grenzwert	Anteil am Grenzwert
ET Luftwege	0	$5,85 \cdot 10^{-3}$	16,1	0,336	16,5	24,9	41,4	900	4,6 %
Lunge	0	$5,06 \cdot 10^{-3}$	15,0	2,18	17,2	24,9	42,1	900	4,7 %
Blase	0	$4,27 \cdot 10^{-3}$	13,9	$8,22 \cdot 10^{-2}$	14,0	25,8	39,7	900	4,4 %
Brust	0	$5,80 \cdot 10^{-3}$	15,5	$9,40 \cdot 10^{-2}$	15,6	23,5	39,1	900	4,3 %
Gehirn	0	$5,85 \cdot 10^{-3}$	14,8	$8,11 \cdot 10^{-2}$	14,9	24,2	39,1	900	4,3 %
Haut	$1,17 \cdot 10^{-2}$	$8,13 \cdot 10^{-3}$	16,3	$8,21 \cdot 10^{-2}$	16,4	23,5	39,8	1800	2,2 %
Hoden	0	$4,92 \cdot 10^{-3}$	14,2	0,623	14,9	24,5	39,3	300	13,1 %
<i>Knochenoberfläche**)</i>	0	$5,18 \cdot 10^{-3}$	10,8	59,3	70,1	49,8	120	1800	6,7 %
Leber	0	$4,54 \cdot 10^{-3}$	13,9	1,95	15,8	26,3	42,1	900	4,7 %
Speiseröhre	0	$4,08 \cdot 10^{-3}$	13,0	$9,61 \cdot 10^{-2}$	13,1	24,9	38,0	900	4,2 %
Magen	0	$4,49 \cdot 10^{-3}$	13,9	$8,58 \cdot 10^{-2}$	14,0	26,8	40,7	900	4,5 %
Dünndarm	0	$4,08 \cdot 10^{-3}$	13,1	$8,23 \cdot 10^{-2}$	13,2	26,1	39,3	900	4,4 %
Oberer Dickdarm	0	$4,18 \cdot 10^{-3}$	13,5	$8,25 \cdot 10^{-2}$	13,6	27,0	40,6	900	4,5 %
Unterer Dickdarm	0	$3,97 \cdot 10^{-3}$	13,3	0,114	13,4	31,2	44,6	900	5,0 %
Dickdarm	0	$4,08 \cdot 10^{-3}$	13,5	$9,27 \cdot 10^{-2}$	13,6	28,6	42,2	900	4,7 %
Milz	0	$4,59 \cdot 10^{-3}$	13,9	$8,89 \cdot 10^{-2}$	14,0	25,0	38,9	900	4,3 %
Muskel	0	$4,50 \cdot 10^{-3}$	13,9	$8,46 \cdot 10^{-2}$	14,0	24,3	38,2	900	4,2 %
Nebennieren	0	$4,23 \cdot 10^{-3}$	13,1	$9,23 \cdot 10^{-2}$	13,2	25,7	39,0	900	4,3 %
Nieren	0	$4,59 \cdot 10^{-3}$	13,9	0,187	14,1	25,1	39,2	900	4,4 %
Ovarien	0	$3,78 \cdot 10^{-3}$	13,5	0,631	14,2	26,4	40,5	300	13,5 %
Pankreas	0	$4,08 \cdot 10^{-3}$	13,0	$8,84 \cdot 10^{-2}$	13,0	25,8	38,8	900	4,3 %
Rotes Knochenmark	0	$4,54 \cdot 10^{-3}$	13,7	1,10	14,8	29,5	44,3	300	14,8 %
Schilddrüse	0	$5,85 \cdot 10^{-3}$	16,1	$8,46 \cdot 10^{-2}$	16,2	24,9	41,1	900	4,6 %
Thymus	0	$5,04 \cdot 10^{-3}$	14,4	$9,61 \cdot 10^{-2}$	14,5	24,9	39,4	900	4,4 %
Uterus	0	$3,77 \cdot 10^{-3}$	12,6	$8,24 \cdot 10^{-2}$	12,6	25,8	38,5	300	12,8 %
Effektiv	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$4,78 \cdot 10^{-3}$	14,0	0,871	14,9	26,4	41,4	300	13,8 %

*) Angaben zu Dosiswerten, auch Summenangaben, sind den Ergebnisdateien des Rechenprogramms entnommen und erfolgen immer auf 3 Stellen genau. Rundungsbedingt kann es zu Abweichungen bei der Summierung kommen.

**) Aufpunkt für die Ingestionsdosis abweichend.

***) Im Text diskutierte Werte sind fett hervorgehoben.

Die potentiell am **stärksten exponierte Altersgruppe** ist die der **Säuglinge** (< 1 Jahr). Die gesamte effektive Dosis für diese Altersgruppe beträgt **60 µSv/a**. Das entspricht **20 %** des nach § 47 StrlSchV²⁰⁰¹ zulässigen Grenzwerts in Höhe von 300 µSv/a. Das hier skizzierte Bild der Strahlenexposition der Bevölkerung ist für alle Altersgruppe ähnlich. Die Werte für die effektive Dosis reichen von **60 µSv/a** bei Säuglingen bis hin zu **41 µSv/a** bei Erwachsenen.

Das **relativ zum Grenzwert potentiell am höchsten belastete Organ** sind für alle Altersgruppen das **Rote Knochenmark**. Die höchste Belastung innerhalb der Altersgruppen wird dabei für die **Säuglinge** mit **95 µSv/a** erreicht. Dies entspricht **32 %** des Grenzwerts in Höhe von 300 µSv/a.

Das potentiell **absolut am höchsten belastete Organ** ist für alle Altersgruppen die **Knochenoberfläche**. Die höchste Belastung innerhalb der Altersgruppen wird dabei für die **Jugendlichen** (12 bis 17 Jahre) mit **268 µSv/a** (**15 %** des Grenzwerts von 1800 µSv/a) erreicht.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die höchsten Dosiswerte für die meisten Organe für die Altersgruppe der Säuglinge resultieren. Für alle Organdosen sowie die effektive Dosis und für alle Altersgruppen werden die Grenzwerte nach § 47 Abs. 1 StrlSchV²⁰⁰¹ unterschritten.

In Tabelle 4-18 ist die effektive Dosis für die am stärksten belastete Altersgruppe der Säuglinge auf einzelne Nuklide und Expositionspfade aufgegliedert dargestellt.

Tabelle 4-18: Effektivdosis für Nuklide und Expositionspfade separat für die Altersgruppe der Säuglinge (< 1 Jahr) durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastungen (Summe der Werte an den ungünstigsten Aufpunkten: Punkt Nr. 1 für Externe Strahlung und Inhalation und Punkt Nr. 2 für Ingestion)

Nuklid	β-Sub- mersion	γ-Submer- sion	γ-Boden- strahlung	Inhalation	Ext. Str. und Inh.	Ingestion	Summe	Anteil
Cs-137	1,10·10 ⁻⁷	2,81·10 ⁻⁴	15,9	4,36·10 ⁻³	15,9	6,64	22,5	37,8 %
C-14 (CO ₂)	7,37·10 ⁻⁷	-	-	2,13·10 ⁻⁴	2,14·10 ⁻⁴	20,0	20,0	33,6 %
Co-60	4,83·10 ⁻⁸	6,45·10 ⁻⁴	7,52	6,48·10 ⁻³	7,53	3,80	11,3	19,0 %
Sr-90	7,85·10 ⁻⁹	-	-	1,30·10 ⁻³	1,30·10 ⁻³	2,17	2,18	3,7 %
Am-241	0	4,24·10 ⁻⁸	2,80·10 ⁻³	0,172	0,175	1,81	1,99	3,3 %
H-3	0	-	-	0,100	0,100	1,47	1,57	2,6 %
Kr-85	1,17·10 ⁻⁴	6,17·10 ⁻³	-	-	6,29·10 ⁻³	-	6,29·10 ⁻³	0,01 %
Ni-63	0	-	-	2,02·10 ⁻⁵	2,02·10 ⁻⁵	3,63·10 ⁻³	3,65·10 ⁻³	0,01 %
Summe	1,17·10 ⁻⁴	7,10·10 ⁻³	23,4	0,283	23,7	35,9	59,6	100,0 %

Den größten Beitrag zur Gesamtdosis liefern die Nuklide Cs-137 (38 %) und C-14 (als CO₂, 34 %). Die Nuklide Sr-90, Co-60 und Am-241 (zusammen 26 %) liefern ebenfalls signifikante Beiträge zur Gesamtdosis. Für Co-60 und Cs-137 ist dabei ein signifikanter Beitrag der γ-Bodenstrahlung und der Ingestion zu vermerken, für Sr-90, C-14 und Am-241 stammt der Beitrag (nahezu) vollständig vom Expositionspfad Ingestion. Der Anteil des Nuklids Kr-85 liegt bei 0,01 %.

Der Anteil der Exposition, der aus den potentiellen Ableitungen von α -Strahlern (hier Am-241) stammt, liegt bei $2 \mu\text{Sv/a}$ und damit bei 3,3 % der gesamten berechneten Exposition von $60 \mu\text{Sv/a}$ bzw. bei 0,67 % des Grenzwerts von $300 \mu\text{Sv/a}$. Der weitaus größte Teil dieser Exposition durch Am-241 wird durch Ableitungen aus dem KKK verursacht. Die Annahmen bezüglich potentieller Ableitungen von α -Strahlern aus FRG 1 (siehe Abschnitt 3.2) und der Zerleghalle (siehe Abschnitt 3.3) haben keinen signifikanten Einfluss auf das Gesamtergebnis. Analog gilt dies für die Ableitungen von Sr-90. Der Anteil an der Gesamtdosis von 3,7 % für Sr-90 wird nahezu vollständig durch Ableitungen aus KKK verursacht.

Die in Tabelle 4-11 bis Tabelle 4-18 dargestellten Werte (außer Dosis für Knochenoberfläche und Rotes Knochenmark) werden überwiegend durch potentielle Ableitungen über den Fortluftkamin des KKK (Summe der Expositionen aus äußerer Strahlung und Inhalation sowie Exposition durch Ingestion) bzw. durch potentielle Ableitungen aus dem LasmAaZ (Exposition durch Inhalation im geringen Umfang bzw. Exposition durch Ingestion) verursacht. Für die angegebenen Werte der Dosis für die Knochenoberfläche und das Rote Knochenmark liefert die potentielle Ableitung aus der TBH einen signifikanten Beitrag. Der Anteil der Exposition, der durch Ableitungen aus dem Fortluftkamin des FRG bzw. aus der Zerleghalle verursacht wird, ist sehr gering (Wert der jeweiligen Gesamt-Effektiv- und Organdosis $< 0,1 \mu\text{Sv/a}$, Knochenoberfläche $< 0,4 \mu\text{Sv/a}$).

Eine separate Berechnung der Exposition nur durch Ableitungen aus dem Fortluftkamin des FRG ergibt ungünstigste Aufpunkte in den Sektoren 3 und 4 jeweils am Zaun (Entfernungen 300 m bzw. 220 m). Die berechneten potentiellen Expositionen liegen jedoch deutlich unter $1 \mu\text{Sv/a}$, so dass auf eine separate Darstellung der Ergebnisse verzichtet wird. Analog lässt sich eine entsprechende Aussage für Ableitungen aus der Zerleghalle treffen.

Die hier angewandte Methode zur Berücksichtigung des Geländeeinflusses gemäß [AVV 12] (siehe Abschnitt 3.5) kann keine geländebedingte Inhomogenität der Strömung berücksichtigen. Für den vorliegenden Fall ist die damit verbundene Unsicherheit bei der Ausbreitungsberechnung als unbedenklich und die verwendete Methode daher als dennoch geeignet anzusehen, da:

- die ungünstigsten Aufpunkte unmittelbar in der Umgebung des KKK und des LasmAaZ bzw. der TBH berechnet wurden, für die jedoch der Einfluss von Strömungsinhomogenitäten eher eine Verdünnung bedeuten würde,
- Strömungseffekte, wie z. B. die Kanalisation in Tälern oder Kaltluftabflüsse in der vorliegenden Orographie nicht oder nur sehr schwach auftreten können (keine engen Täler, moderate Gesamt-Höhendifferenz),
- an Aufpunkten in höher gelegenen Bereichen allein auf Grund der durch die Entfernung bedingten Verdünnung sehr geringe Expositionen berechnet wurden; strömungsbedingte Inhomogenitäten können hier zwar an diesen Aufpunkten zu höheren Expositionen führen, maßgeblich für die Bewertung bleiben aber die Aufpunkte in der unmittelbaren Umgebung des KKK und des LasmAaZ bzw. der TBH und
- die verbleibenden Unsicherheiten keine Änderungen an den Ausbreitungsparametern erwarten lassen, die eine um den Faktor drei höhere Gesamtdosis zur Folge hätten (und damit eine Überschreitung der Grenzwerte für die Organdosis des Roten Knochenmarks).

4.3. Sensitivitätsanalyse Kurzzeitableitungen

In einer Sensitivitätsanalyse werden die Ableitungen mit der Fortluft des FRG und mit der Fortluft der Zerlegehalle (jeweils alle Nuklide) als Kurzzeitableitungen betrachtet. Die sonstigen Ableitungen mit der Fortluft des FRG und mit der Fortluft der Zerlegehalle und die Ableitungen der berücksichtigten Vorbelastungen werden weiter als Langzeitableitungen betrachtet. Dabei wird folgendes Vorgehen angewendet:

- Die Kurzzeitableitungen erfolgen innerhalb von 24 h gleichzeitig aus dem Fortluftkamin des FRG und der Zerlegehalle.
- Die Kurzzeitableitungen erfolgen während des Sommerhalbjahrs und tragen damit zur Dosis durch Verzehr von kontaminierten Lebensmitteln (Ingestionsdosis) bei.
- Es werden die meteorologischen Parameter entsprechend Abschnitt 3.9 verwendet. Die Ausbreitungsklasse und die Windrichtung wird so gewählt, dass sich durch die Kurzzeitableitungen ein maximaler Beitrag zur Gesamtdosis ergibt.
- Die Expositionsberechnung für die Kurzzeitableitungen erfolgt wie in Abschnitt 2.5 beschrieben.

Ein maximaler Beitrag zur Gesamt-Effektivdosis ergibt sich für Ausbreitungsklasse C, mit einer Niederschlagsintensität von 5 mm/h und einer Windrichtung von 125° (bezogen auf den Fortluftkamin des FRG). Die ungünstigsten Aufpunkte sind in diesem Fall identisch mit denen der Langzeitableitungen.

Die Ergebnisse der Expositionsberechnung sind in Tabelle 4-19 zusammengefasst.

Tabelle 4-19: Maximale effektive Dosen, separat für jeden Expositionspfad durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastung, Kurzzeitableitungen für alle Nuklide

Pfad	Dosis [$\mu\text{Sv/a}$]	Altersgruppe	x [m]	y [m]	Punkt Nr.
β -Submersion	kein signifikanter Beitrag ($< 0,01 \mu\text{Sv/a}$)				
γ -Submersion					
γ -Bodenstrahlung	25	< 1 Jahr	-980	720	1
Inhalation	1,7	> 17 Jahr	-920	660	2
Summe Aufenthalt	25	< 1 Jahr	-980	720	1
Ingestion	40	1 bis 2 Jahre	-920	660	2
Summe ^a	59	< 1 Jahr	-920	660	2
ungünstigste Aufpunkte ^b	65	< 1 Jahr	-980 / -920	720 / 660	1/2

^a Hierbei handelt es sich um die Summe aller Expositionen, die für einen einzelnen Aufpunkt maximal wird. Dieses Berechnungsergebnis wird gemäß [AVV 12] nicht bewertet.

^b Hierbei handelt es sich um das gemäß [AVV 12] zu bewertende Berechnungsergebnis.

Die berechnete effektive Dosis liegt um ca. 8 % über den Ergebnissen, die für die Langzeitableitungen ermittelt wurden. Alle getroffenen Aussagen zur Einhaltung der Grenzwerte bleiben damit auch bei Berücksichtigung der Ableitungen aller Nuklide durch FRG und die Zerlegehalle als Kurzzeitableitungen weiter gültig.

Die für die betrachteten Kurzzeitableitungen separat (aus dem Fortluftkamin des FRG und der Zerlegehalle mit den oben angegebenen meteorologischen Bedingungen) berechnete effektive Dosis ergibt sich altersgruppenabhängig zwischen 6 $\mu\text{Sv/a}$ und 10 $\mu\text{Sv/a}$ (Beiträge sowohl durch Cs-137, Co-60, H-3 als auch durch C-14, maßgeblich durch Ingestion). Der Aufpunkt liegt dabei bei $x = -500$ m und $y = 280$ m am nordwestlichen Zaun des HZW-Geländes.

Ein maximaler Beitrag zur Gesamtdosis für das Rote Knochenmark ergibt sich für Ausbreitungs-klasse C, mit einer Niederschlagsintensität von 5 mm/h und einer Windrichtung von 280° (bezogen auf den Fortluftkamin des FRG). Der ungünstigste Aufpunkt für die Ingestionsdosis (Organdosen Rotes Knochenmark und Knochenoberfläche) ergibt sich in diesem Fall an Aufpunkt Nr. 3.

Die Ergebnisse der Expositions-berechnung für die Organdosis des Roten Knochenmarks sind in Tabelle 4-20 zusammengefasst.

Tabelle 4-20: Maximale Organdosis für das Rote Knochenmark, separat für jeden Expositionspfad durch Aktivitätsabgaben über den Fortluftkamin des FRG und aus der Zerlegehalle unter expliziter Berücksichtigung der Vorbelastung, Kurzzeitableitungen für H-3 und C-14

Pfad	Dosis [$\mu\text{Sv/a}$]	Altersgruppe	x [m]	y [m]	Punkt Nr.
β -Submersion	kein signifikanter Beitrag ($< 0,01 \mu\text{Sv/a}$)				
γ -Submersion					
γ -Bodenstrahlung	23	< 1 Jahr	-980	720	1
Inhalation	2,1	> 17 Jahr	-920	660	2
Summe Aufenthalt	24	< 1 Jahr	-980	720	1
Ingestion	88	< 1 Jahr	220	-60	3
Summe ^a	90	< 1 Jahr	220	-60	3
ungünstigste Aufpunkte ^b	111	< 1 Jahr	-980 / 220	720 / -60	1/3

^a Hierbei handelt es sich um die Summe aller Expositionen, die für einen einzelnen Aufpunkt maximal wird. Dieses Berechnungsergebnis wird gemäß [AVV 12] nicht bewertet.

^b Hierbei handelt es sich um das gemäß [AVV 12] zu bewertende Berechnungsergebnis.

Die berechnete Organdosis liegt um ca. 17 % über den Ergebnissen, die für die Langzeitableitungen ermittelt wurden. Alle getroffenen Aussagen zur Einhaltung der Grenzwerte bleiben damit auch bei Berücksichtigung der Ableitungen durch FRG und die Zerlegehalle als Kurzzeitableitungen (alle Nuklide) weiter gültig.

Wird als Windrichtung für die Kurzzeitableitungen 75° (bezogen auf den Fortluftkamin des FRG) bei ansonsten gleichen meteorologischen Parametern angenommen, so ergibt sich am südlichen Zaun des



Hereon-Geländes eine effektive Exposition (gesamt, Summe über alle Expositionspfade) altersgruppenabhängig zwischen $15 \mu\text{Sv/a}$ und $21 \mu\text{Sv/a}$, maßgeblich verursacht durch die Kurzzeitableitungen. Die Gesamtexposition an den Aufpunkten ist für diese Situation jedoch geringer als für eine Windrichtung von 125° .

5. QUELLEN

- [ATG 12] GESETZ ÜBER DIE FRIEDLICHE VERWENDUNG DER KERNENERGIE UND DEN SCHUTZ GEGEN IHRE GEFAHREN (ATOMGESETZ)
In der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565)
zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 6 des Gesetzes am 24. Februar 2012
(BGBl. I S. 212)
- [ATG 15] GESETZ ÜBER DIE FRIEDLICHE VERWENDUNG DER KERNENERGIE UND DEN SCHUTZ GEGEN IHRE GEFAHREN (ATOMGESETZ)
In der Fassung der Bekanntmachung vom 15. Juli 1985 (BGBl. I S. 1565)
zuletzt geändert durch Artikel 307 Absatz 1 und Absatz 2 des Gesetzes am 31.08.2015
(BGBl. I S. 1474)
- [AVV 12] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zu § 47 Strahlenschutzverordnung
vom 28. August 2012 (Banz. AT B1 vom 05.09.2012)
- [AVV 20] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ermittlung der Exposition von Einzelpersonen der
Bevölkerung durch genehmigungs- oder anzeigebedürftige Tätigkeiten (AVV Tätigkeiten)
Vom 8. Juni 2020 (BANz AT B3 vom 16.06.2020)
- [BMU 00] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Begründung (zur Neufassung der StrlSchV), Stand: 04.08.2000
- [BMU 01] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition
vom 23. Juli 2001
Bundesanzeiger. Nr. 160 a/b vom 28. August 2001
- [BMU 02] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische
Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft)
vom 24. Juli 2002
GMBI. 2002, Heft 25 – 29, S. 511 – 605
- [BOY 15] VERMESSUNGSBÜRO BOYSEN
Lageplan und Höhenangaben Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und
Küstenforschung GmbH
562CC038-03F0-474A-915E-0B9D89E7F950
zur Verfügung gestellt am 09.11.2015

- [BS 15] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
Berechnung der potentiellen Strahlenexposition in der Umgebung des Helmholtz-Zentrums
Geesthacht durch Ableitungen mit der Fortluft gemäß AVV zu § 47 StrlSchV
BS Projekt-Nr.: 1508-05
Aachen, 17.12.2015
- [BS 18] BRENK SYSTEMPLANUNG GMBH
Berechnung der potentiellen Strahlenexposition in der Umgebung des Helmholtz-Zentrums
Geesthacht durch Ableitungen mit der Fortluft gemäß AVV zu § 47 StrlSchV
BS Projekt-Nr.: 1807-02
Rev. 1, Aachen, 10.12.2018
- [DBT 98] DEUTSCHER BUNDESTAG
Unterrichtung durch die Bundesregierung
Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 1997
Drucksache 13/114602
30.09.1998
- [DWD 20] DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD)
CDC (Climate Data Center)
Tageswerte der Station 1975 Station Hamburg-Fuhlsbüttel
Stand: 23.07.2020
https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/historical/
- [DWD 20A] DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD)
CDC (Climate Data Center)
Tageswerte der Station 6093 Wendisch Evern
Stand: 23.07.2020
https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/kl/historical/
- [DWD 20B] DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD)
CDC (Climate Data Center)
Tageswerte der Station 5608 Winsen/Luhe
Stand: 23.07.2020
https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/more_precip/historical/
- [HER 13] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung des Forschungsreaktors FRG 1 und Abbau der
Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors des Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zent-
rum für Material- und Küstenforschung GmbH
21.03.2013

- [HER 13A] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Jahresbericht 2012
Emissionsüberwachung des Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung
Jahresbericht
25.03.2013
- [HER 15] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Jahresbericht 2014
Emissionsüberwachung des Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung
Jahresbericht
12.03.2015
- [HER 16] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Präzisierung des Antrags nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung des Forschungsreaktors FRG 1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors des Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH vom 21. März 2013
06.09.2016
- [HER 16A] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Antrag auf Genehmigung § 7 Strahlenschutzverordnung zum Umgang mit radioaktiven Stoffen in der Transportbereitstellungshalle (TBH) der Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH
06.09.2016
- [HER 16B] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Sicherheitsbericht
Betrieb einer Transport- und Bereitstellungshalle (TBH)
Rev. 2, 01.11.2016
- [HER 16C] HELMHOLTZ-ZENTRUM GEESTHACHT
Sicherheitsbericht
Stilllegung des Forschungsreaktors FRG-1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors sowie die Zerlegung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn
Rev. 2, 01.11.2016
- [HER 21] HELMHOLTZ-ZENTRUM HEREON GMBH
Aktivitätsinventar des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn
Erläuterungsbericht zur Stilllegung des Forschungsreaktors FRG-1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors sowie die Zerlegung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffs Otto Hahn
Bericht Nr. EB-FRG/HL/RDB-OH-18
Rev. 2, 08.10.2021

- [KKK 15] KERNKRAFTWERK KRÜMMEL GMBH & CO. OHG
Antrag nach § 7 Abs. 3 AtG auf Stilllegung und Abbau Kernkraftwerk Krümmel
24.08.2015
- [KTA 17] KERntechnischer Ausschuss (KTA)
Instrumentierung zur Ermittlung der Ausbreitung radioaktiver Stoffe in der Atmosphäre
KTA 1508, Fassung 11/17, http://www.kta-gs.de/d/regeln/1500/1508_r_2017_11.pdf.
- [LVG 16] LANDESAMT FÜR VERMESSUNG UND GEOINFORMATION SCHLESWIG-HOLSTEIN
DGM10 Auftragsnummer DP 58644/2016
23.08.2016
- [MSG 81] DER SOZIALMINISTER DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN
Durchführung der Strahlenschutzverordnung vom 13.10.1976
hier: Genehmigung für die HAKONA
Schreiben vom 30.04.1981
IX 340 b-417.917.153
- [MSG 97] MINISTERIUM FÜR SOZIALES, GESUNDHEIT, FAMILIE, JUGEND UND SENIOREN DES LANDES
SCHLESWIG-HOLSTEIN
Genehmigung Nr. F 011.15/30 RS gemäß § 3 der Strahlenschutzverordnung zum Umgang
mit radioaktiven Stoffen
Schreiben vom 29.09.1997
IX 241 a-417.912.530
- [MSG 07] MINISTERIUM FÜR SOZIALES, GESUNDHEIT, FAMILIE, JUGEND UND SENIOREN DES LANDES
SCHLESWIG-HOLSTEIN
Forschungszentrum Geesthacht
Genehmigungsverlängerung - Bereitstellungshalle
Schreiben vom 13.02.2007
VIII 614-416.444.524
- [MEL 15] MINISTERIUM FÜR ENERGIEWENDE, LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME
DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN
Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG)
Verfahren zur Stilllegung des Forschungsreaktors FRG 1 und Abbau der Forschungsreaktor-
anlage und des Heißen Labors der Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material-
und Küstenforschung GmbH, Antrag gemäß § 7 Abs. 3 AtG
Schreiben vom 13.07.2015
416.716.74

- [MEL 20] MINISTERIUM FÜR ENERGIEWENDE, LANDWIRTSCHAFT, UMWELT, NATUR UND DIGITALISIERUNG DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN
Helmholtz-Zentrum Geesthacht
Stilllegung des Forschungsreaktors FRG-1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors, Zerlegung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffes Otto Hahn sowie Errichtung und Betrieb einer Transportbereitstellungshalle
Hier: Berechnung der potentiellen Strahlenexposition in der Umgebung des Helmholtz Zentrums Geesthacht durch Ableitungen mit der Fortluft gemäß AVV zum § 47 StrISchV
Schreiben vom 19.06.2020
V 703 - 30250/2020
- [SSK 99] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION
Wissenschaftliche Begründung zur Anpassung des Kapitels 4 „Berechnung der Strahlenexposition“ der Störfallberechnungsgrundlagen für Kernkraftwerke mit Druckwasserreaktor
Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
Heft 13 (1999)
- [SSK 03] STRAHLENSCHUTZKOMMISSION
Störfallberechnungsgrundlagen (SBG) zu § 49 StrISchV, Neufassung des Kapitels 4: Berechnung der Strahlenexposition. Empfehlung der SSK verabschiedet in der 186. Sitzung am 11.09.2003
- [SSV 17] STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG (STRLSCHV) IN DER FASSUNG VOM 20. JULI 2001
Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrISchV)
Vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714, berichtigt BGBl. 2002 I S. 1459), zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114)
- [SSV 18] VERORDNUNG ZUM SCHUTZ VOR DER SCHÄDLICHEN WIRKUNG IONISIERENDER STRAHLUNG (STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG – STRLSCHV)
Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I Nr.41 vom 05. Dezember 2018, S. 2034) zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. November 2020 (BGBl. I S. 2502)
- [TÜV 18] TÜV NORD ENSYS GMBH & CO. KG
Helmholtz-Zentrum Geesthacht - Stilllegung des Forschungsreaktors FRG 1 und Abbau der Forschungsreaktoranlage und des Heißen Labors sowie Zerlegung des Reaktordruckbehälters des Nuklearschiffes Otto Hahn
hier: Berechnung der potentiellen Strahlenexposition in der Umgebung des Helmholtz-Zentrums Geesthacht durch Ableitungen mit der Fortluft gemäß AVV zu § 47 StrISchV
Stellungnahme vom 26.04.2018
- [VOS 13] VOSS INGENIEURE - INGENIEURBÜRO FÜR BAUWESEN GMBH
Entwurfsplanung für den Rückbau des RDB - Zerlegehalle Schnitte
Zeichnungsnummer E03, 14.11.2013



A. ANHANG

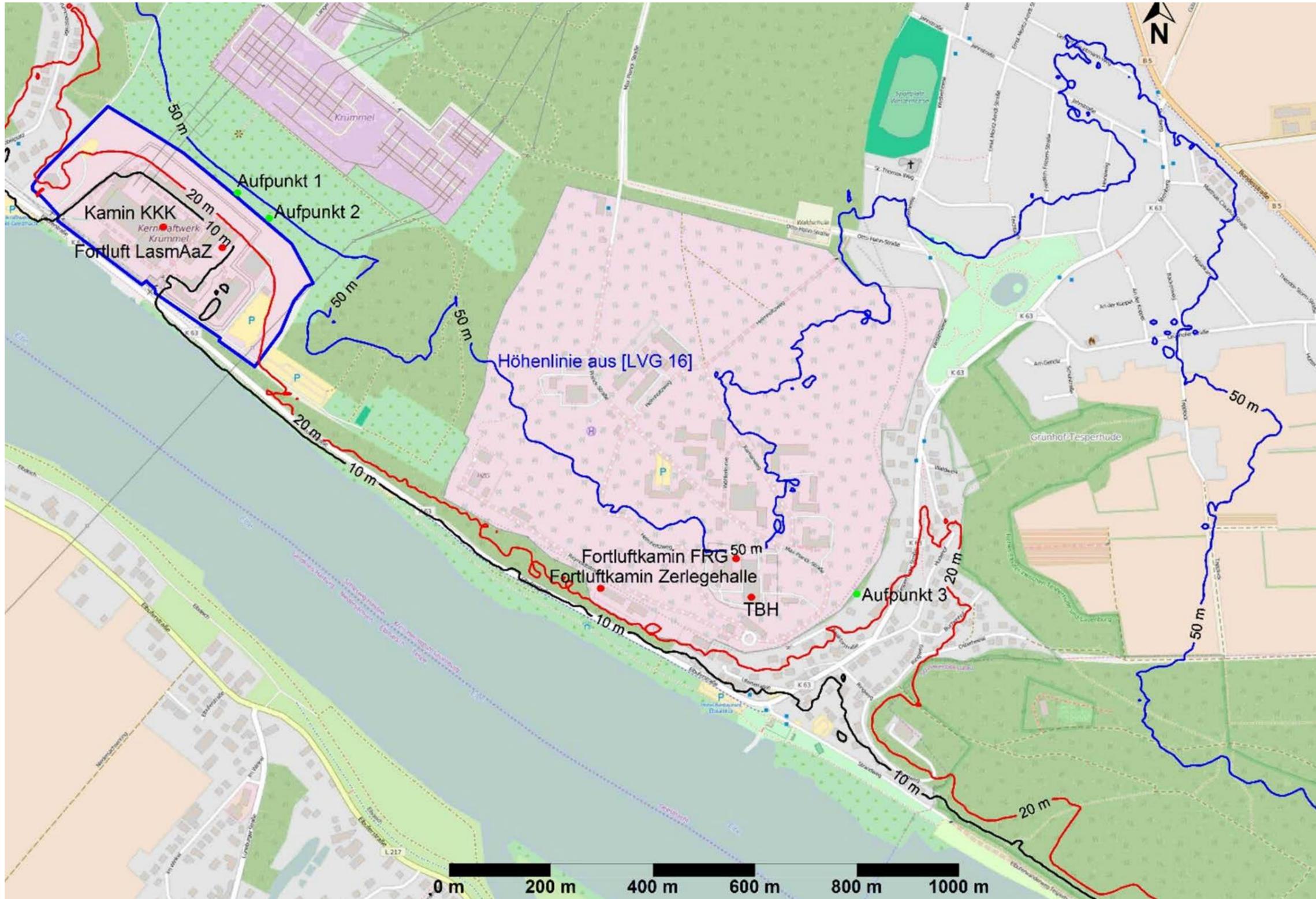


Abbildung A-1: Standort HZG und Lage KKK, Darstellung auf Basis von Open-Street-Map® Kartenmaterial